



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UnICEUB
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA – FAET
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO**

Resfriamento Líquido de Computadores e Servidores

Aluno: Daniel Silva Antonelli

Brasília, 2007

Daniel Silva Antonelli

Resfriamento Líquido de Computadores e Servidores

Prof. Orientador: Carmo Gonçalves

Monografia apresentada à Banca Examinadora da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia do UniCEUB como um dos pré-requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Brasília – DF, Dezembro de 2007

AGRADECIMENTOS

À minha família;

À minha noiva;

Aos meus amigos;

Ao professor Carmo Gonçalves, que me orientou da melhor forma possível;

A todos os professores que contribuíram para minha formação;

Acima de tudo, agradeço a DEUS, pela grande oportunidade da Vida.

RESUMO

Conforme o desenvolvimento da tecnologia da computação avança, processadores tornam-se cada vez mais rápidos e eficientes. Os fabricantes buscam colocar a maior quantidade de transistores possível dentro do núcleo do processador e já existem processadores com mais de um núcleo, os chamados *multi-core*. Os transistores são responsáveis pela dissipação de calor do processador, que se não for adequadamente resfriado, irá falhar levando à perda de dados, tempo e do próprio processador. Uma alternativa ao tradicional resfriamento a ar é o resfriamento usando água, o que resulta em temperaturas mais baixas e melhores condições para os processadores operarem de forma mais estável. Serão analisadas, através de ensaios, as vantagens técnicas e econômicas da migração de um sistema de resfriamento a ar para um sistema de resfriamento a água.

Palavras-chaves: Resfriamento, dissipadores, energia térmica, desempenho, *overclock*.

ABSTRACT

As the development of computer technology advances, processors become faster and more efficient. Hardware makers tries to put as much transistors as possible into the processor core, also, there are already processors with more then one core, also known as multi-core CPUs. Transistors are the main responsible for the processor heat dissipation, and if not correctly cooled, can lead to loss of data, time and the processor itself. One alternative to the traditional air cooling is the water cooling, resulting in lower temperatures and higher processors stability. Economical and technical advantages are going to be reviewed in order to migrate from an air cooling to a water cooling system.

Keywords: Cooling, heatsinks, thermal energy, performance, *overclock*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 – Layout da placa mãe.....	19
Figura 3.2 – Layout do fluxo de ar no gabinete.....	21
Figura 4.1 – Peça principal <i>Nautilus</i> 500.....	30
Figura 4.2 – Vista de baixo da peça principal.....	31
Figura 4.3 – Peça principal aberta.....	32
Figura 4.4 – Fluxo do fluido no interior da peça.....	33
Figura 5.1 – Primeira tela de testes.....	39
Figura 5.2 – Segunda tela de testes.....	41
Figura 5.3 – Temperaturas do processador principal estimulado em ambiente com um processador.....	42
Figura 5.4 – Temperaturas do processador principal ocioso em ambiente com um processador.....	42
Figura 5.5 – Zalman ZM-GWB2.....	44
Figura 5.6 – Terceira tela de testes.....	45
Figura 5.7 – Temperaturas do processador de vídeo estimulado em ambiente multi processado.....	47
Figura 5.8 – Temperaturas do processador de vídeo ocioso em ambiente multi processado.....	48
Figura 6.1 – Arquitetura do Athlon 64.....	59
Figura A.1 – Accelero X2 – Resfriamento a ar do processador de vídeo.....	67
Figura A.2 – Cooler AMD.....	67
Figura A.3 – Ventoinhas do gabinete.....	68
Figura B.1 – Bloco de contato e líquido refrigerante.....	69

Figura B.2 – Bloco de contato instalado no processador principal.....	69
Figura B.3 – Tubulação no interior do gabinete.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Relação dos componentes do PC de teste.....	22
Tabela 5.1 – Primeira compilação de testes – RESFRIAMENTO A AR.....	37
Tabela 5.2 – Segunda compilação de testes – RESFRIAMENTO A AR.....	38
Tabela 5.5 – Ensaio com ambiente multi processado.....	46
Tabela 5.6 – Níveis de ruído diversos.....	50
Tabela 5.7 – Níveis de ruído fornecidos pelos fabricantes.....	51
Tabela 5.8 – Consumo em Watts de cada componente do sistema de resfriamento a ar.....	54
Tabela 5.9 – Custo anual para cada condição ensaiada, considerando o sistema de resfriamento a ar e a água.....	56
Tabela 6.1 – Resultados dos testes de <i>benchmark</i>	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PC	Personal Computer
GPU	Graphics Processing Unit
CPU	Central Processing Unit
AT	Advanced Technology
ATX	Advanced Technology Extended
dBA	Decibel
CFM	Cube Feet Per Minute
Hz	Hertz
AMD	Advanced Micro Devices
HTT	Hyper Transport
MIPS	Milhões de instruções por segundo
MFLOPS	Milhões de operações em ponto flutuante por segundo
RAM	Random Access Memory
CEB	Companhia Energética de Brasília

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	MOTIVAÇÃO	1
1.2	OBJETIVOS	1
1.3	MÉTODOS UTILIZADOS	2
1.3.1	Bloco	3
1.3.2	Tubulação	4
1.3.3	Bomba	4
1.3.4	Radiador	4
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2	Conceitos de transferência de calor	8
2.1	DISSIPACÃO DE CALOR EM COMPUTADORES	8
2.2	QUANTIDADE DE CALOR (Q)	11
2.3	CALOR SENSÍVEL	12
2.4	CALOR LATENTE (L):	13
2.5	TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO	14
2.5.1	Resistência de contato	14
2.6	TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO	15
2.7	TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO	16
3	Análise térmica	17
3.1	ANÁLISE TÉRMICA DE COMPUTADORES	17
3.2	LOCALIZAÇÃO DOS COMPONENTES	18
3.3	FLUXO DE CALOR NO INTERIOR DO COMPUTADOR	20
3.4	SISTEMA DE TESTES E APRESENTAÇÃO DO RESFRIAMENTO A AR	22
3.4.1	Principais Características Técnicas do <i>Cooler</i> AMD	23

3.4.2	Principais Características Técnicas da pasta térmica Akasa.....	24
3.4.3	Principais Características Técnicas das ventoinhas	26
3.4.4	Principais Características Técnicas do Cooler da Placa de Vídeo.....	27
4	O Cooler a água.....	28
4.1	CONCEITO DO COOLER A ÁGUA	28
4.2	APRESENTAÇÃO DO SISTEMA UTILIZADO	29
4.2.1	Radiador e bomba de água	29
4.2.2	Líquido refrigerante.....	34
5	Testes realizados – Ar versus Líquido	35
5.1	MEDIÇÕES DE TEMPERATURAS COM SISTEMA DE RESFRIAMENTO A AR	36
5.2	MEDIÇÕES DAS TEMPERATURAS COM RESFRIAMENTO LÍQUIDO	40
5.3	RESFRIAMENTO LÍQUIDO EM AMBIENTE MULTI-PROCESSADO	43
5.4	RESULTADOS RELATIVOS AO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E AOS NÍVEIS DE RUÍDO	48
5.4.1	Nível de ruído.....	48
5.4.2	Consumo de energia.....	54
6	Aumento do processamento através do <i>Overclock</i>	58
7	Conclusão	63
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
8	Bibliografia	66
	Apêndice A.....	67
	Apêndice B.....	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Reduzir a temperatura dos processadores para níveis abaixo dos especificados, significa garantir o bom funcionamento dos mesmos e as suas operações estáveis. Além de preservar dados e obter uma disponibilidade maior de serviço, um processador mais frio pode ser submetido à técnicas de *overclock*, aumentando sua frequência de operação e conseqüentemente seu poder de processamento.

O atual sistema de resfriamento a ar é suficiente para manter os processadores a uma temperatura baixa, porém muito próxima ao limite. Uma pequena falha nesse sistema ou até mesmo uma variação na temperatura ambiente pode comprometer o bom funcionamento do computador. Uma alternativa para manter as temperaturas em um nível bem abaixo do limite é usar um sistema de resfriamento a água. Além de garantir um melhor desempenho de resfriamento, o sistema a água produz menos ruído em troca de um aumento de consumo de energia inexpressivo, como será visto ao longo do trabalho.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal do projeto é avaliar as eficiências do sistema de resfriamento a ar e compará-lo com o sistema de resfriamento a água, para microcomputadores, por intermédio de ensaios, considerando como principal parâmetro de referência a temperatura. Este trabalho tem também como objetivos

analisar a situação térmica das máquinas e avaliar outros parâmetros, tais como: ruído, consumo de energia, e como o problema de aquecimento é tratado utilizando sistemas de resfriamento. Uma abordagem teórica sobre os principais conceitos técnicos envolvidos de transferência de calor e dos principais componentes de microcomputadores também será abordada.

Após essa análise, espera-se obter resultados que dê sustentabilidade para propor o sistema de resfriamento mais adequado para microcomputadores, ou seja, para os componentes que mais geram calor.

Da literatura técnica consultada, espera-se que o sistema de resfriamento a líquido seja mais eficiente do que o sistema de resfriamento a ar, de forma a permitir que os computadores tenham um desempenho superior aos métodos convencionais de resfriamento existentes, e operem com temperaturas mais amenas, contribuindo para, inclusive prolongar as suas vidas úteis.

Após a implementação do sistema, serão analisados aspectos como consumo de energia, geração de ruído e, naturalmente, a performance de resfriamento.

1.3 MÉTODOS UTILIZADOS

Atingir os objetivos acima só é possível graças ao maior poder que a água tem de transferir calor se comparado ao ar. Isso porque:

$$Q = \varphi M c \Delta T \quad (1.1)$$

Onde:

Q é a quantidade de calor sensível em Joules (J)

c é o calor específico em Joules por quilograma Kelvin ($\frac{J}{Kg \cdot K}$)

ΔT é a variação de temperatura em Kelvin (K)

Desmembrando ϕM (vazão mássica) obtém-se:

$$\phi M = \rho \cdot v \cdot A \quad (1.2)$$

Onde:

ρ é a densidade do fluido em quilogramas por metro cúbico ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)

v é a sua velocidade em metros por segundo ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$)

A é a área da secção de passagem do fluido em metros quadrados (m^2)

Como a densidade da água é de 1000kg/m^3 , enquanto a densidade do ar é na ordem de $1,2\text{kg/m}^3$, logo a vazão mássica será muito maior quando a água for utilizada, conseqüentemente a quantidade de calor trocado teoricamente será muito maior.

Nos sistemas convencionais o fluido responsável pelo resfriamento do computador é o ar, sendo esta a principal limitação dos processadores e demais componentes que geram calor em quantidade que possam comprometer a operação adequada dos micros. Este trabalho realizará testes em dois sistemas, sendo um convencional a ar e outro a ser montado não convencional utilizando água com fluido de resfriamento. O sistema de resfriamento a água será composto pelos componentes relacionados a seguir:

1.3.1 Bloco

O bloco fará contato direto com o componente a ser resfriado. Dessa forma o calor será passado do componente para o bloco por meio de condução térmica. Será utilizada também uma pasta térmica para otimizar a transferência de calor entre

o processador e o bloco, de forma a eliminar os efeitos da resistência de contato que serão posteriormente explicados.

1.3.2 Tubulação

A tubulação fará o transporte do fluido pelo interior do sistema. Esta, tem um diâmetro de 3/8 de polegadas cujo material é composto por uma mistura de 50% de borracha e 50% de silicone. O uso do silicone facilita as curvas que o tubo deve fazer evitando dobras e possíveis prejuízos no escoamento do fluido em seu interior, ou seja, evitando perdas de cargas localizadas acentuadas. A tubulação deve conduzir esse fluido pelo interior dos blocos, reservatório e radiador e apresenta um comprimento total de 4,2 metros.

1.3.3 Bomba

A função principal da Bomba de Água é fornecer pressão suficiente ao líquido de arrefecimento (ou refrigerante) de forma que este circule pelo sistema, promovendo a troca térmica desejada. Nesta circulação, o líquido de arrefecimento absorve o calor do bloco dos processadores que em seguida, é dissipado no radiador, onde há troca de calor resfriando a água que retorna ao sistema fechando o ciclo deste sistema. No item 4.2.1 serão apresentados detalhes da bomba utilizada.

1.3.4 Radiador

Componente composto por uma serpentina de alumínio que trocará efetivamente o calor dos componentes com o meio externo. Essa troca é realizada por redes de convecção forçada, pois existe uma ventoinha que irá auxiliar no processo de troca de calor. O fluido quente entrará no radiador e percorrerá toda a serpentina de alumínio aquecendo-a. A ventoinha irá forçar o ar do ambiente na

serpentina que perderá calor e conseqüentemente resfriará o fluido. No final do radiador, o fluido sairá mais frio.

O produto final do projeto será o sistema completo com todos os componentes devidamente instalados funcionando, as medições efetuadas e as análises realizadas.

Após a realização dos ensaios e obtenção dos resultados, os cinco parâmetros citados a seguir, serão analisados, objetivando dar sustentabilidade na avaliação dos sistemas de resfriamento de computadores:

1- Consumo de energia elétrica: Será analisado se ao substituir as ventoinhas que agem nos componentes, por uma bomba de água e outra ventoinha do radiador o consumo de energia será maior ou menor.

2- O nível de ruído gerado pelo sistema: Assim como o consumo de energia, os ruídos causados pela bomba e pela ventoinha do radiador serão comparados com o ruído de todas as ventoinhas previamente instaladas no sistema a ar.

3- Melhor desempenho de resfriamento: O principal item do projeto é o desempenho de resfriamento. Teoricamente espera-se que o resfriamento pelo fluido no estado líquido seja mais eficiente do que o resfriamento a ar, devido à maior densidade da água, porém isso será testado na prática e os resultados serão exibidos.

4- Custo: O custo total do sistema de resfriamento à água é maior que o tradicional. Porém, se o consumo de energia elétrica for menor, será também uma vantagem do sistema de resfriamento líquido, que se verificará por intermédio de um gráfico de custo *versus* tempo para saber se a migração para

o novo sistema é viável a curto ou médio prazo. Os cálculos levarão em conta o custo do kWh para termos uma análise real do gasto dos dois sistemas e o desempenho do sistema de resfriamento, que poderá contribuir com a vida útil do sistema computacional e acelerar os processamentos.

5- Escalabilidade: O sistema de resfriamento a água é totalmente escalável, pois é constituído de diferentes partes que podem ser trocadas independentemente umas das outras de acordo com a necessidade. Se for desejado um maior desempenho pode-se trocar apenas a bomba ou o radiador. Dessa forma o sistema é flexível, podendo ser avaliado e alterado de acordo com a necessidade.

Com base nesses cinco itens apresentados e nos conceitos de transferência de calor, contidos na literatura técnica, será analisado se o sistema de arrefecimento a água será mais vantajoso que o sistema de arrefecimento a ar, sob o ponto de vista técnico-econômico.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No próximo capítulo serão apresentados conceitos de transferência de calor com enfoque nas trocas de calor que ocorrem dentro do gabinete de um computador. No capítulo 3, será feita uma análise térmica dos componentes que serão resfriados e uma análise do sistema de resfriamento a ar. Ainda no capítulo 3, o sistema de resfriamento a água será apresentado. No capítulo 4, será feita uma análise mais aprofundada do sistema a água que foi apresentado no capítulo anterior e suas especificações técnicas serão apresentadas. O capítulo 5, destina-se aos ensaios feitos com os dois sistemas, a fim de comparar o desempenho deles mensurando a performance de resfriamento, produção de ruído e consumo de

energia. O capítulo 6, apresenta uma técnica para aumento da frequência de operação de processadores *Athlon* 64. O processador usado nos ensaios terá sua frequência aumentada, o que foi possível devido a sua baixa temperatura de operação obtida com o uso do sistema de resfriamento a água.

O sétimo e último capítulo conclui o projeto, ressaltando as vantagens técnicas e econômicas da migração dos sistemas e apresenta sugestões para trabalhos futuros.

2 CONCEITOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

2.1 DISSIPACÃO DE CALOR EM COMPUTADORES

Assim como todos os componentes eletrônicos, o processador produz calor durante o seu funcionamento. O excesso de calor é prejudicial e pode chegar a queimar o processador ou fazê-lo funcionar de maneira instável. Os processadores esquentam devido ao efeito Joule, que é o processo de transformação de energia elétrica em calor. Dentro do processador existem trilhas condutoras responsáveis pelas ligações internas. A Lei de Joule (também conhecida como efeito Joule) é uma lei física que expressa a relação entre o calor gerado e a corrente elétrica que percorre um condutor em determinado tempo. O nome é devido a James Prescott Joule (1818-1889) que estudou o fenômeno em 1840.

A lei de Joule pode ser expressa por:

$$Q = i^2 R t \quad (2.1)$$

Onde:

- **Q** é o calor gerado por uma corrente constante percorrendo uma determinada resistência elétrica por determinado tempo. Sua unidade é o Joule.

- **i** é a corrente elétrica que percorre o condutor com determinada resistência **R** e é medida em Amperes.

- **R** é a resistência elétrica em Ohms do condutor.

• **t** é a duração ou espaço de tempo em que a corrente elétrica percorreu ao condutor e é medido em segundos.

Se a corrente não for constante em relação ao tempo deve-se utilizar a equação a seguir:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt \quad (2.2)$$

Onde:

- Q é q quantidade de calor gerado pela corrente
- t1 e t2 são os tempos inicial e final que a corrente fluirá pela resistência
- i é a corrente em Amperes

A lei de Joule está relacionada com a definição de Joule onde:

• Um Joule é o trabalho realizado para transportar um Coulomb (unidade de medida da carga elétrica) de um ponto para outro, estando os dois pontos a uma diferença de potencial de um *volt* (unidade de medida da diferença de potencial).

- O trabalho é dado por:

$$W = Q \cdot U \quad (2.3)$$

Onde:

- **W** é o trabalho elétrico (em Joule).

- **Q** é a carga (em Coulomb).
- **q** é a segunda carga elétrica (em Coulomb)
- **U** é a diferença de potencial (em volt).

O calor gerado por um dispositivo eletrônico precisa ser rapidamente removido, caso contrário produzirá um aumento de temperatura. Se o calor não for removido a temperatura do dispositivo irá aumentar cada vez mais, até um ponto que ela será tão alta que poderá danificar os circuitos internos do processador, o que obviamente não é desejável.

A temperatura máxima admissível pelo processador está normalmente estampada no próprio corpo do processador de forma codificada. No *Data Book* do processador (documento que pode ser baixado no site do fabricante do processador) há uma parte dedicada a explicar o código estampado sobre o invólucro do processador, que inclui a sua temperatura máxima admissível.

Essa é a temperatura máxima admissível, isto é, que o processador pode trabalhar sem queimar. Quanto menor for a temperatura em que o processador funcionar, maior será a sua vida útil e menor a probabilidade do computador apresentar instabilidades. *Coolers* de melhor qualidade e o uso adequado de pasta térmica podem fazer com que o processador trabalhe a uma temperatura abaixo da máxima admissível

Mas, a tecnologia de resfriamento de PCs e servidores atual, é dominada pelos dissipadores de alumínio ou cobre que necessariamente utilizam ventoinhas para agilizar a troca de calor com os processadores e demais circuitos. Servidores muito caros e que têm papel vital em empresas dependem do bom funcionamento de ventoinhas, que por uma simples interferência mecânica (como um cabo solto no interior do gabinete) pode parar e danificar permanentemente o processador da

máquina, causando prejuízos materiais e possível perda de informações. Ao contrário do que se pensa, não só o processador, mas memórias, processadores gráficos e discos rígidos, também necessitam de resfriamento, e mantê-los a uma baixa temperatura aumentam o seu desempenho e a sua vida útil. A questão térmica é tão importante que hoje é o principal fator limitador da tecnologia de micro processadores. Até os processadores das placas de vídeo, por exemplo, já contém resfriamento a ar devido à sua alta capacidade de processamento e enorme número de transistores.

Os processos pelos quais ocorre transferência de calor são:

- Condução
- Convecção
- Radiação

Quando dois corpos com temperaturas distintas são colocados próximos um do outro em um mesmo ambiente, ou em contato, há uma troca de energia térmica entre eles. Pode-se verificar então que, ao longo do tempo, eles passam a ter a mesma temperatura, ou seja, adquirem o equilíbrio térmico. O corpo que apresentava temperatura mais alta perde energia térmica, enquanto o outro corpo ganha energia e tem sua temperatura elevada. Essa energia em trânsito de um corpo para outro é o calor.

2.2 QUANTIDADE DE CALOR (Q)

Utiliza-se “Q” para representar a quantidade de calor trocado entre corpos. A unidade de medida utilizada no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o Joule (J),

e a unidade usual é a caloria (cal). Para realizar a transformação de caloria para Joule ou vice e versa usa-se a seguinte relação: 1 cal = 4,18 J.

Convencionalmente, se um corpo recebe calor, a quantidade de calor Q é positiva. E se um corpo cede calor, a quantidade de calor Q é negativa.

2.3 CALOR SENSÍVEL

Calor sensível é aquele que provoca variação da temperatura sem provocar a mudança de fase.

Capacidade térmica (C): é uma característica do corpo. A capacidade térmica corresponde à quantidade de calor (recebida ou cedida) que leva a uma variação de 1°C na temperatura do corpo. É dada pela relação da quantidade de calor recebida por um corpo e a variação de temperatura sofrida pelo mesmo. É representada pela letra C e é medida em calorias por grau Celsius (cal/°C) ou caloria por Kelvin (cal/K).

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (2.4)$$

Onde:

- **C** é a Capacidade térmica,
- **Q** é a quantidade de calor recebida ou cedida pelo corpo e
- **ΔT** é a variação de temperatura sofrida pelo corpo.

A quantidade de calor sensível (Q) que um corpo de massa M recebe é diretamente proporcional ao seu aumento de temperatura. Logo, é possível calcular a quantidade de calor sensível usando a seguinte fórmula:

$$Q = C \Delta T \quad (2.5)$$

Calor específico (c): ao contrário da capacidade térmica, o calor específico não é característica do corpo, mas sim característica da substância. Corresponde à quantidade de calor recebida ou cedida por 1 g da substância que leva a uma variação de 1°C na temperatura do corpo em questão. É dado pela relação da capacidade térmica do corpo pela sua massa. É representado pela letra *c* (minúscula) e é medido em cal/g . °C ou cal/g . K.

$$c = \frac{C}{M} \quad (2.6)$$

Onde:

- **c** é o calor específico,
- **C** é a capacidade térmica
- **m** é a massa.

2.4 CALOR LATENTE (L):

É a quantidade de calor que a substância troca por grama de massa durante a mudança de estado físico. É representado pela letra *L*. É medido em caloria por grama (cal/g).

Para calcular o calor latente é necessário utilizar a seguinte expressão:

$$Q = M \cdot L \quad (2.7)$$

Onde:

- **Q** é a quantidade de calor recebida ou cedida pelo corpo,
- **M** é a massa do corpo
- **L** é o calor latente.

2.5 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO

Condução térmica é um dos meios de transferência de calor que geralmente ocorre em materiais sólidos, e é a propagação do calor por meio do contato de moléculas de um sólido ou de dois ou mais com temperaturas diferentes. Em uma só substância, por exemplo, o calor flui naturalmente de uma extremidade mais quente para a extremidade mais fria e esse calor é transferido molécula a molécula por vibração molecular, e a proximidade delas nos sólidos facilita a condução de calor devido à baixa distância intermolecular. Sob o ponto de vista da engenharia, não há necessidade de se detalhar as complexidades dos mecanismos, pois a taxa de propagação de calor pode ser prevista pela lei de Fourier, que incorpora as características mecânicas do processo em uma propriedade física conhecida como condutividade térmica.

Os metais devido à elevada condutividade térmica são excelentes meios de propagação de calor. Os gases e alguns sólidos, que possuem baixa condutividade térmica, são péssimos meios de propagação de calor.

2.5.1 Resistência de contato

Quando duas superfícies condutoras diferentes são colocadas em contato, uma resistência térmica está presente na interface dos sólidos. Ela é normalmente chamada de resistência térmica de contato e se desenvolve quando os dois materiais não se ajustam perfeitamente, aprisionando uma camada de fluido entre eles. O exame de uma área ampliada do contato entre as duas superfícies mostra que os sólidos somente se tocam nos picos da superfície e que os vales nas superfícies justapostas são ocupados por um fluido, geralmente o ar, um líquido ou pelo vácuo.

A resistência da interface é basicamente uma função da rugosidade da superfície, da pressão que mantém as duas superfícies em contato, do fluido da interface e da temperatura da mesma. Quando duas superfícies estão em contato térmico perfeito, a resistência da interface se aproxima de zero, e não há resistência de temperatura na interface.

No caso deste projeto, o contato do processador com o dissipador ou com o bloco de água certamente não é perfeito e sofre do problema descrito acima. Para melhorar a transferência de calor, a pasta térmica será aplicada e ela será justamente o fluido que preencherá os vales onde não há contato entre os dois sólidos.

2.6 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO

A convecção é um processo de transporte de massa caracterizado pelo movimento de um fluido devido à sua diferença de densidade, especialmente através de aquecimento e/ou resfriamento. Ao transporte de massa devido às diferenças de densidade simples nomeia-se *convecção livre* ou *natural*; se o movimento é forçado mecanicamente, por bomba, ou ventilador, o processo é denominado *convecção forçada*.

Quando certa massa de um fluido é aquecida suas moléculas passam a se mover mais rapidamente, afastando-se uma das outras. Como o volume ocupado por essa massa fluida aumenta, ela torna-se menos densa. A tendência dessa massa menos densa no interior do fluido como um todo é sofrer um movimento de ascensão ocupando o lugar das massas do fluido que estão a uma temperatura inferior. A parte do fluido mais fria (mais densa) move-se para baixo tomando o lugar que antes era ocupado pela parte do fluido anteriormente aquecido. Esse processo

se repete inúmeras vezes enquanto o aquecimento é mantido dando origem às chamadas correntes de convecção. São as correntes de convecção que mantêm o fluido em circulação e promovem este tipo de troca térmica.

2.7 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO

A transmissão de energia térmica através do espaço ocorre por radiação. Este processo de transmissão do calor não depende da presença de um meio material, podendo ocorrer através do vácuo. A energia solar, por exemplo, chega à terra dessa forma.

A energia transmitida deste modo é denominada energia radiante e apresenta-se na forma de ondas eletromagnéticas, assim como as ondas de rádio, microondas, a luz visível, a radiação ultravioleta (UV), os raios X e os raios gama. Essas formas de energia radiante estão classificadas por ordem de comprimento de onda (ou de frequência) constituindo o espectro eletromagnético.

A transferência de calor por radiação geralmente envolve a faixa do espectro conhecida por infravermelho (IV). Qualquer objeto que estiver com temperatura acima do zero absoluto libera energia radiante. Objetos a uma maior temperatura liberam mais energia radiante que objetos a uma menor temperatura.

Esse tipo de transferência de calor para os estudos em pauta não será relevante e, portanto não será considerado neste projeto. As transferências de calor por meio de condução e convecção são predominantes e serão consideradas neste trabalho.

3 ANALISE TÉRMICA

3.1 ANALISE TÉRMICA DE COMPUTADORES

Antes de ser realizada uma análise teórica dos computadores, é importante ter em mente quais são os componentes alvo que irão se submeter ao resfriamento. As localizações desses componentes sofreram mudanças ao longo da evolução dos computadores, essa troca de lugares se deu exatamente porque no passado, o problema de temperatura não era tão expressivo. Conforme os componentes, em especial o processador, foi ficando mais complexo e requerendo mais energia, fez-se necessária uma reestruturação das placas mães. Nas antigas placas mães AT, o processador era instalado do lado centro-direito da placa e já no padrão atual ATX, o processador mudou para a parte superior da placa. Será observado mais adiante o porquê dessa troca e como isso beneficiou o computador em geral.

Os principais componentes geradores de calor em computador são:

- **Processador**

O processador é a parte fundamental para o funcionamento de um computador. Processadores são circuitos digitais que realizam operações como: cópia de dados, acesso a memórias, operações lógicas e matemáticas. Devido à grande necessidade de energia, os processadores atuais emanam uma quantidade enorme de calor. Os valores exatos serão vistos mais adiante.

•Processador da placa de vídeo

GPU (*Graphics Processing Unit*, ou Unidade de Processamento Gráfico), é o nome dado a um tipo de microprocessador especializado em processar gráficos em computadores pessoais, estações de trabalho ou videogames. GPU's modernas manipulam gráficos computadorizados com eficiência e sua estrutura de processamento paralelo as tornam mais capazes neste tipo de trabalho que GPU's normais. Uma GPU normalmente é utilizada em placas de vídeo, mas versões simplificadas são integradas diretamente em placas-mães. Por utilizarem um número muito alto de transistores em sua construção, as GPU's geram grande quantidade de calor. Em algumas placas de vídeo topo de linha, o número de transistores e a temperatura chegam a superar às do processador principal da máquina.

Cada um desses componentes consegue trabalhar a uma temperatura máxima, na qual ele foi projetado. Esta temperatura será obtida através dos manuais dos fabricantes destes componentes. O objetivo principal do sistema de arrefecimento é garantir o bom funcionamento dos componentes independente da temperatura do meio externo e das condições de carga desses componentes. Um bom sistema será capaz de manter estável um servidor com 100% de processamento rodando em um ambiente comum, sem preocupações com resfriamento externo. O resfriamento líquido será capaz de cumprir com essa meta, conforme será mostrado neste trabalho.

3.2 LOCALIZAÇÃO DOS COMPONENTES

Na figura a seguir, observa-se a localização do processador principal em uma placa mãe do padrão ATX. A figura mostra também alguns dos componentes que

contribuem para gerar calor dentro do gabinete. Apesar desses outros componentes não serem alvos diretos do sistema de arrefecimento a água, é importante destacar as suas localizações na placa mãe.

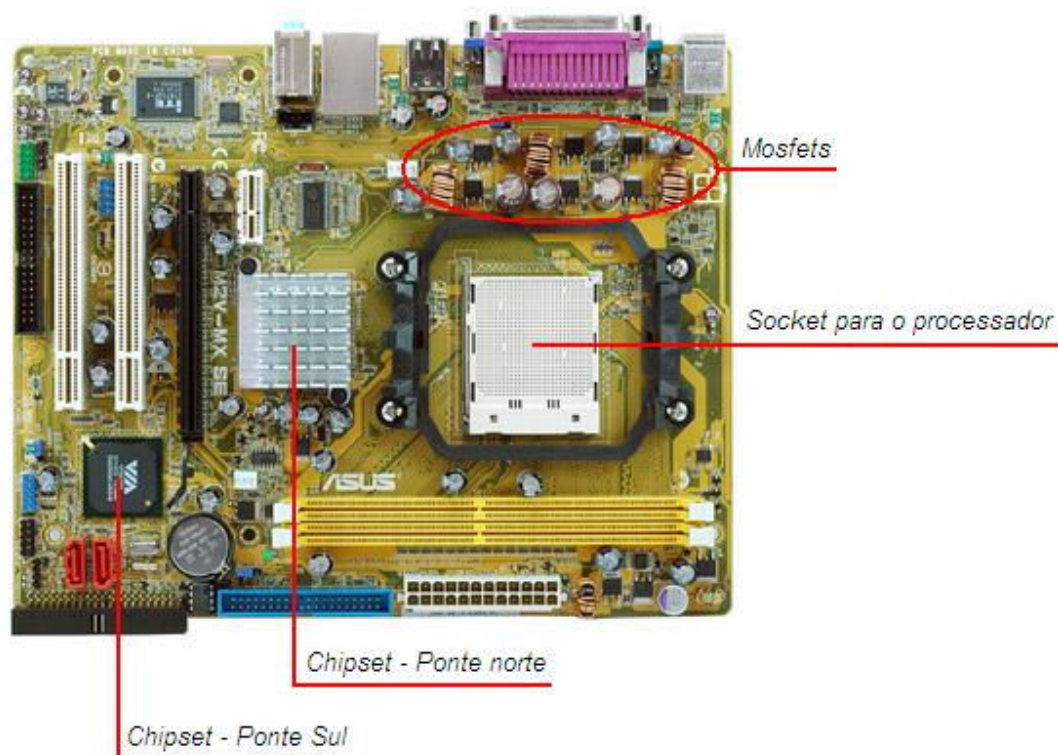


Figura 3.1 – Layout da placa mãe

Fonte: www.asus.com

Na parte superior da placa (direita da figura) é localizado o *socket* para o processador. Durante a reestruturação do padrão AT, foi conveniente colocar o processador nesta posição, pois a massa de ar quente que sai do processador já é transferida para fora do gabinete através da ventoinha da fonte de alimentação. No padrão antigo, o processador esquentava, e o ar quente subia esquentando os outros componentes da placa mãe, principalmente por convecção.

Na parte superior esquerda da placa mãe são localizados os *Mosfets*. Sua localização também é estratégica e seu calor é removido com o auxílio da ventoinha da fonte, ou até pela ventoinha de alguns gabinetes que contam com um exaustor na sua parte traseira.

No centro da placa, existe um dissipador de alumínio na ponte norte do *chipset*. Na maioria das placas mãe, o dissipador já é suficiente para resfriar o *chipset*, mas algumas placas utilizam ainda uma ventoinha.

Seguindo a mesma lógica, a ponte sul do *chipset* é colocada na parte inferior da placa mãe. Como ela não dissipa uma quantidade significativa de calor, sua posição mais abaixo não influencia negativamente a temperatura do restante dos componentes da placa mãe.

Nota-se então que a disposição dos componentes da placa mãe segue uma lógica de que quanto mais calor o componente dissipa, mais alto ele deve ficar para que a massa de ar quente não suba e prejudique os outros componentes. Porém, o remanejamento dos componentes levou também em consideração os cabos que eram ligados dos periféricos à placa mãe. A idéia foi trazer os conectores para próximo do seu periférico, encurtando assim as distâncias. Com isso, os cabos deixam o gabinete mais limpo, com uma maior área de circulação de ar aumentando a eficiência do sistema de resfriamento a ar.

3.3 FLUXO DE CALOR NO INTERIOR DO COMPUTADOR

De acordo com a posição dos componentes no interior do computador, pode-se traçar um fluxo de calor que acontece enquanto o computador está funcionando. O objetivo principal das ventoinhas é retirar o calor de dentro do gabinete. Sem essa

saída é impossível resfriar o computador, pois o processador trocará calor com um ar cada vez mais quente.



Figura 3.2 – Layout do fluxo de ar no gabinete

Analisando a figura observam-se as seguintes etapas de resfriamento:

1. Uma ventoinha geralmente de 80 mm a 120 mm de diâmetro é colocada à frente do gabinete de forma a exaurir o ar do ambiente e insuflá-lo para dentro do gabinete. Esse ar será usado para resfriar todos os componentes internos do computador.
2. Os componentes internos do computador trocam calor com o ar. O processador é o principal componente gerador de calor. Esse ar quente que é produzido fica dentro do gabinete a não ser que seja exaurido para fora.
3. Existe um exaustor ao lado do processador que tem como função exaurir o ar quente para fora do gabinete.

4. A ventoinha da fonte também exerce papel fundamental no resfriamento do computador. Devido a sua queda de densidade, o ar quente produzido no computador sobe, e resta à ventoinha da fonte retirá-lo do gabinete.

3.4 SISTEMA DE TESTES E APRESENTAÇÃO DO RESFRIAMENTO

A AR

A partir desse ponto, será utilizado um computador com as seguintes configurações citadas a seguir. Este computador será utilizado para a realização dos testes que darão base para a identificação dos problemas de resfriamentos dos seus componentes. Os resultados destes ensaios serão utilizados para equacionar as soluções que foram pautadas anteriormente. Abaixo segue a tabela 3.1 que contém as informações básicas dos principais componentes que constituem o computador de teste:

Tabela 3.1 – Relação dos componentes do PC de teste

Componente	Marca	Modelo
Processador	AMD	Athlon X2 4000+ Ref. ADO4000IAA6CS
Placa mãe	Asus	AN2-E SLI
Memória	Infineon	DDR2 667 MHz – 1Gb
Memória	Infineon	DDR2 667 MHz – 1Gb
Placa de vídeo	ATI	Radeon X1950 Pro – 256Mb
Fonte	Seventeam	SBK 420W

Esse computador está montado em um gabinete semelhante ao da figura 3.2. A diferença é que o gabinete de teste conta ainda com uma ventoinha de 80 mm instalada na lateral do gabinete.

O sistema de arrefecimento a ar do computador de teste é composto pelos seguintes componentes:

1. Uma ventoinha de 120 mm de diâmetro instalada na parte frontal do gabinete insuflando o ar frio para dentro.
2. Uma ventoinha de 80 mm de diâmetro instalada na parte traseira do gabinete exaurindo o ar quente para fora.
3. Uma ventoinha de 80 mm de diâmetro instalada na parte lateral do gabinete insuflando o ar frio para dentro do gabinete.
4. Um *cooler* da AMD para seus processadores Athlon X2.
5. Pasta térmica Akasa sobre o processador para maximizar a transferência de calor para o *cooler* da AMD.
6. Um *cooler* do fabricante Artic Silver Modelo Accelero X2 para a placa de vídeo ATI *Radeon*.
7. Uma ventoinha de 120 mm de diâmetro instalada na parte inferior da fonte de alimentação.

Portanto, esse será o sistema de teste com resfriamento a ar que será utilizado durante o projeto e este será comparado com um sistema de resfriamento à água que será introduzido no próximo capítulo.

3.4.1 Principais Características Técnicas do *Cooler* AMD

O *cooler* do processador que será utilizado é o próprio *cooler* que vem com o processador na sua versão “*box*”. Abaixo seguem os detalhes técnicos do *cooler*:

- Dimensões da ventoinha: 70 mm de diâmetro e 20 mm de altura;
- Fluxo de ar gerado pela ventoinha: 44,17 CFM;
- Nível de ruído gerado: 33,5 dBA;
- Dissipador de alumínio;
- Dimensões do dissipador: 70/77/50 mm respectivamente, comprimento, altura e largura.

A medida CFM é uma unidade não pertencente ao Sistema Internacional, que em inglês significa *Cubic Feet per Minute*. Ela indica quantos pés cúbicos de ar passa por um determinado ponto em um minuto. Em outras palavras, ela mensura a taxa de vazão do ar para dentro ou fora de um espaço num determinado período de tempo. Um CFM é aproximadamente igual a 0,47 litros por segundo.¹

3.4.2 Principais Características Técnicas da pasta térmica Akasa

Do ponto de vista microscópico, o contato físico entre o processador e o *cooler* não é perfeito. Imperfeições existentes tanto na superfície do processador quanto na superfície do *cooler* impedem um contato 100% perfeito entre eles. Como as superfícies de ambos não são perfeitamente lisas, minúsculas lacunas de ar são formadas na hora da junção. Como o ar é um péssimo condutor de calor (com coeficiente de condutibilidade de 0,026 W/m°K), o calor passará com maior dificuldade do processador para o *cooler*, o que pode resultar em superaquecimento. Essa dificuldade de transferência de calor entre dois sólidos, como explicitado anteriormente é denominada de resistência térmica de contato.

¹ Wikipedia, the free encyclopedia, Disponível em:
http://en.wikipedia.org/wiki/Cubic_feet_per_minute Acesso em: 16/10/2007

"A existência de uma resistência de contato se deve principalmente aos efeitos da rugosidade da superfície. Pontos de contato se entremeiam com falhas que são, na maioria dos casos, preenchidas com ar. A transferência de calor é, portanto, devida à condução de calor através da área de contato real e à condução e/ou radiação através das falhas." (Incropera & De Witt, p. 44-4ª edição, p. 64-5ª edição).

Para resolver o problema da resistência térmica de contato e melhorar a transferência de calor entre o processador e o *cooler*, é necessário aplicar pasta térmica entre eles de modo a preencher as minúsculas lacunas de ar. Com isso, a transferência de calor entre o processador e o *cooler* é feita de forma mais eficiente, já que a pasta térmica possui coeficiente de condutibilidade térmica maior do que o ar. O ar possui um coeficiente de condutividade térmica na ordem de 0,026 W/m.K, enquanto a pasta térmica oferece um coeficiente de condutividade de 9.24 W/m.°C de acordo com os dados do fabricante.

A pasta térmica utilizada será a mesma tanto para o sistema de arrefecimento a ar quanto à água. Isso porque os blocos de cobre também sofrem do problema de contato com os componentes do computador. A pasta térmica utilizada será do fabricante Akasa modelo AK-450 com as seguintes características²:

- Condutividade térmica: 9.24 W/m.°C
- Temperatura de operação: 0°C à 200°C
- Composição: Composição à base de prata

² AKASA BRASIL, Disponível em: <<http://www.akasa.com.br/>> . Acesso em 16/10/2007

Com sua composição a base de prata, a pasta térmica oferece uma condutividade térmica bastante alta e aperfeiçoa o processo de transferência de calor do processador para o *cooler*.

3.4.3 Principais Características Técnicas das ventoinhas

O sistema é composto por duas ventoinhas de 120 mm de diâmetro e uma de 80 mm. As ventoinhas de 120 mm têm as seguintes características³:

- Voltagem de operação: 12V
- Potência: $12 \times 0,33A = 3,96$ Watts
- Ruído: 36,7 dBA
- Vazão de ar de 59,05 CFM

A ventoinha de 80 mm conta com as seguintes características:

- Voltagem de operação: 12V
- Potência: $12 \times 0,20A = 2,4$ Watts
- Ruído: 30 dBA
- Vazão de ar de 28,76 CFM

Esses valores serão utilizados posteriormente para o cálculo do nível de ruído total e para calcular o consumo total de energia do sistema.

³ AKASA BRASIL, Disponível em: <<http://www.akasa.com.br/>> . Acesso em 16/10/2007

3.4.4 Principais Características Técnicas do Cooler da Placa de Vídeo

O cooler da placa de vídeo é fornecido pelo fabricante *Artic Cooling* e será o responsável pelo resfriamento do processador desta placa. O cooler conta com as seguintes especificações⁴:

- Voltagem de operação: 12V
- Potência: $12 \times 0,13A = 1,56 \text{ Watts}$
- Ruído: 44dBA
- Vazão de ar de 9,82 CFM

Esses valores também serão utilizados posteriormente para cálculo do nível de ruído total do sistema e para a determinação do consumo total de energia do sistema.

⁴ ARTIC COOLING, Disponível em: < <http://www.arctic-cooling.com/vga2.php?idx=90&data=2&disc=>>. Acesso em 13/10/2007

4 O COOLER A ÁGUA

4.1 CONCEITO DO COOLER A ÁGUA

Diferente do resfriamento a ar, onde o fluido que troca o calor com os componentes é o próprio ar, o fluido utilizado no *cooler* à água é basicamente água destilada com um aditivo anti-corrosivo. O uso do aditivo é necessário, pois a água destilada fluirá no interior de um bloco de cobre e pelo radiador de alumínio, e essa mistura de matérias pode ocasionar corrosão. Além disso, o aditivo evita o crescimento de fungos e bactérias na água e aumenta também seu ponto de ebulição.

O resfriamento à água se dá pelo fluxo do fluido através da tubulação, que impulsionado pela bomba flui através dos blocos e do radiador. O bloco é a parte responsável pelo contato do componente com o fluido. Ele irá absorver o calor por meio de condução térmica que será também conduzido para a água passante. Essa água irá até o radiador que trocará o calor com o ambiente externo através da convecção térmica que é o processo de transmissão de energia que se dá através de movimentação de massa fluida, no caso, o ar.

Atualmente, esse sistema de resfriamento não é utilizado comercialmente, porém, já existem soluções para computadores pessoais. O uso comercial ainda não é viável em virtude do espaço ocupado pelo sistema e sua pouca praticidade. Apesar de ter uma melhor capacidade de resfriamento, os bons sistemas de resfriamento a ar ainda são preferidos.

Porém, para computadores pessoais, já existe possibilidade de resfriamento a água. O público alvo das empresas fabricantes é o usuário entusiasta que faz uso constante de técnicas de *overclock* para aumentar o desempenho da máquina. Como a água fornece um desempenho superior de resfriamento, o mesmo oferece condições de temperatura viável para o uso do *overclock*. Essas técnicas serão analisadas no capítulo seis.

4.2 APRESENTAÇÃO DO SISTEMA UTILIZADO

Para os testes, será utilizada uma solução completa de resfriamento à água do fabricante de componentes para computador *Corsair*. O modelo utilizado será o *Nautilus 500* que pode ser encontrado em algumas lojas especializadas deste segmento.

O *Nautilus 500* é composto por todos os componentes descritos na introdução do projeto. Este sistema foi escolhido pelo fato de atender a todas as especificações necessárias para o desenvolvimento do trabalho, onde será comparado o seu desempenho, consumo e nível de ruído com o sistema a ar apresentado no capítulo anterior.

4.2.1 Radiador e bomba de água

Na figura 4.1 a seguir, observa-se a parte do *cooler* que irá receber o fluido e trocar o calor com o ambiente: o radiador. Na parte superior existe uma ventoinha de 120 mm de diâmetro que forçará a entrada de ar frio no interior do radiador para que o fluido no estado líquido possa ser resfriado. Observa-se também a presença de um *led* na parte frontal esquerda que indica o *status* de funcionamento do sistema,

assim como o orifício de entrada do fluido, que será utilizado para encher o reservatório com o líquido.

A seguir seguem as especificações técnicas das partes que compõem o sistema⁵:



Figura 4.1 – Peça principal *Nautilus 500*

Fonte – www.corsair.com

A ventoinha que equipa a peça tem as seguintes principais características técnicas operacionais:

- **Voltagem de operação:** 7 ou 12 V
- **Corrente:** 0.3A
- **Rotação:** 1800RPM (Rotações por minuto) quando operada a 12V e 1050RPM à 7V
- **Vazão de ar:** 74.4 CFM quando operada à 12V e 43.4 CFM À 7V

⁵ CORSAIR - SITE OFICIAL, Disponível em: < <http://www.corsairmemory.com/>>. Acesso em 16/10/2007

- **Pressão:** 3.2 mm.c.a
- **Potência:** 3,6W quando operada a 12V ou 2,1W quando operada a 7V

A próxima figura (4.2) mostra a mesma peça vista por baixo onde é possível encontrar o radiador. Ele é aberto porque o ar frio que será jogado pela ventoinha de cima deve sair pela parte de baixo da peça. A mesma imagem mostra os dutos de entrada e saída de fluido (em branco na parte esquerda) uma entrada de energia e uma chave que controla a rotação da ventoinha. A chave ativada faz com que a placa de controle alimente a ventoinha com 12V e consequentemente rode mais rápido aumentando o desempenho do sistema. A chave desativada habilita o modo de redução de velocidade com conseqüente redução de consumo e ruído, mas com reflexos no desempenho do sistema. Deste modo, a ventoinha será alimentada com uma voltagem de apenas 7V.



Figura 4.2 – Vista de baixo da peça principal

Fonte – www.corsair.com

A próxima figura (4.3) mostra a parte interna do referido componente. A seguir apresenta-se as descrições das suas principais partes enumeradas de 1 a 6 na figura a seguir.

1. Orifício para inserção do líquido refrigerante
2. Reservatório
3. Tubo de entrada de líquido
4. Bomba
5. Tubo de saída do líquido
6. Radiador
7. Placa de controle – Fornece energia para a ventoinha e a bomba
8. Ventoinha

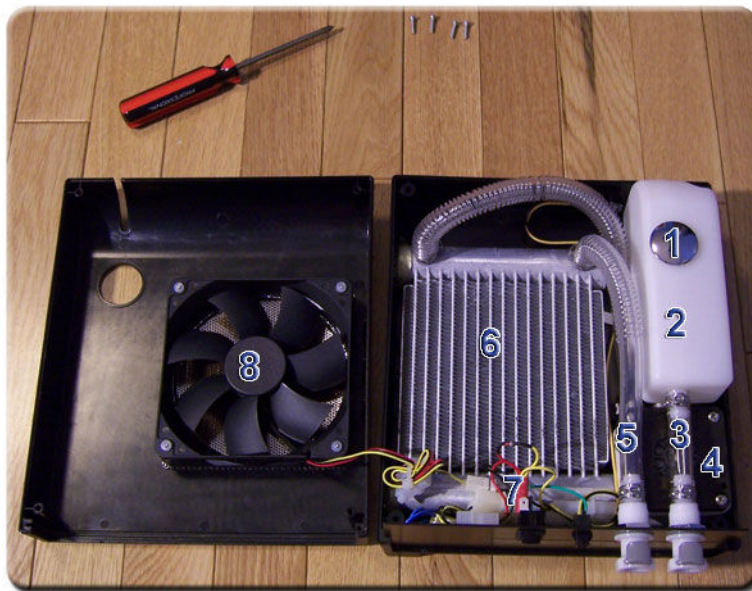


Figura 4.3 – Peça principal aberta

Fonte – www.corsair.com.br

A figura 4.4 a seguir ilustra o fluxo de fluido com as cores representando suas temperaturas. As setas vermelhas indicam entrada de água quente no reservatório,

enquanto que a seta azul indica a saída do fluido quando o mesmo já passou pelo radiador. O fluido entrará pela tubulação até o reservatório e fluirá no interior do radiador trocando o calor com o meio externo auxiliado pela ventoinha. O reservatório é um componente opcional e não são todos os sistemas que o possuem. Porém, sua presença é muito importante, dando mais segurança ao sistema e melhorando a sua performance e estabilização da temperatura. Quanto mais fluido, mais energia será necessária para aumentar sua temperatura total.

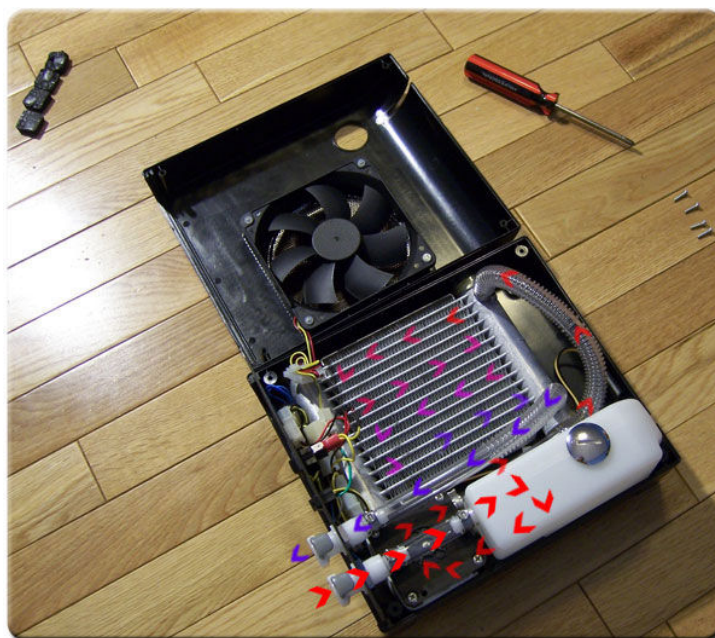


Figura 4.4 – Fluxo do fluido no interior da peça

Fonte: www.corsair.com

A bomba utilizada pela solução da *Corsair* tem as seguintes principais características técnicas:

- **Voltagem utilizada: 12 VDC**

- **Pressão máxima do sistema:** 22 PSI = 151684.65 Pascal (N/m²)
- **Temperatura máxima do fluido:** 60°C
- **Vazão máxima:** 350 litros por hora

4.2.2 Líquido refrigerante

O sistema de resfriamento *Nautilus* 500 conta com um frasco de 250 ml de fluido aditivo que deve ser misturado com água destilada para encher o reservatório. Esse fluido, segundo dados do fabricante, evita corrosão dos metais, crescimento de bactérias e fungos, e aumenta o ponto de ebulição da água.

5 TESTES REALIZADOS – AR *VERSUS* LÍQUIDO

Os testes realizados serão conduzidos tomando como base o sistema de testes exposto no item 4 do capítulo 3. Os testes serão realizados com o ambiente a uma temperatura de 24° C e a metodologia exposta a seguir será utilizada em todos os ensaios. O *software* utilizado para medir a temperatura do processador da máquina foi o *Speedfan*, que pode ser encontrado no site do fabricante Almico⁶ <http://www.almico.com/speedfan.php>.

Método utilizado: Para que o processador dissipe a maior quantidade de calor possível, este deve ser submetido a uma carga de processamento alta ininterruptamente, proporcionando assim a base para os testes. Essa carga pode ser estimulada usando programas pesados que consumam todos os recursos da CPU e assim é possível simular um ambiente em que se tem um servidor trabalhando a sua carga máxima, pois uma vez atendido a condição de solicitação extrema, as demais condições de uso estarão também atendidas. O programa utilizado para estimular o processador foi o *Vídeo Card Stability Test*⁷. Apesar de esse *software* ser designado para estimular o processador da placa de vídeo, ele também consome 100% dos recursos do processador principal da máquina. Dessa forma, criou-se um cenário onde se tem os dois principais componentes geradores de calor trabalhando em sua carga máxima. Isso gera o máximo de aquecimento dentro do gabinete e o calor que

⁶ ALMICO, Speedfan - Access temperature sensor in your computer. Disponível em: <<http://www.almico.com/speedfan.php>>. Acesso em: 15/08/2007

⁷ FREESTONE GROUP, Video Card Stability Test - Stress Testing & Benchmark the speed of your 3D graphics video card. Disponível em: <<http://freestone-group.com/video-card-stability-test.htm>> Acesso em: 12/09/2007

um componente dissipa influencia o outro. Nessa primeira parte dos testes, serão realizadas as medições com o *cooler* a água agindo exclusivamente no processador da máquina. Será analisado o seu desempenho, e na segunda parte dos testes, será instalado um bloco de água no processador da placa de vídeo. Com isso, será possível saber se esse *cooler* será capaz de resfriar dois processadores adequadamente.

5.1 MEDIÇÕES DE TEMPERATURAS COM SISTEMA DE RESFRIAMENTO A AR

Iniciando a bateria de testes, será testada a capacidade do *cooler* da AMD e o *cooler* da placa de vídeo de dissipar o calor dos processadores. Nessa primeira parte, apenas as ventoinhas desse *cooler* funcionarão, portanto sem a ajuda das demais ventoinhas instaladas na lateral, parte frontal e traseira do micro. Assim, será medida a performance bruta do *cooler* e quantos graus abaixo da temperatura limite do processador ele consegue manter.

Primeiramente, usando o software *speedfan*, mediu-se a temperatura do processador quando o mesmo estava ocioso. A medida de temperatura foi tomada após 10 minutos do computador ligado sem nenhuma atividade. Nessa etapa, a temperatura do processador foi de 39° C e a temperatura do processador de vídeo foi medida em 43° C. Lembrando que nessa parte, as únicas ventoinhas ligadas são: do *cooler* da AMD, a ventoinha do dissipador da placa de vídeo e a ventoinha da fonte.

O segundo passo foi estimular o uso de ambos os processadores, o principal e o da placa de vídeo, e ver como essas ventoinhas atuaram sobre o calor. Após 3

minutos e 41 segundos, o processador principal atingiu uma temperatura de 60° C e a temperatura do processador de vídeo ficou em 52° C. Portanto, a temperatura do processador principal aumentou em 21° e a temperatura do processador de vídeo aumentou em 9°. A tabela abaixo ilustra esses testes:

Tabela 5.1 – Primeira compilação de testes – RESFRIAMENTO A AR

Componente	Temperatura – Ocioso (°C)	Temperatura – Sob estímulo (°C)	Tempo de execução (s)	Potência dissipada sob estímulo (W)	Temperatura Máxima suportada (°C)
Processador principal	39	60	221	65	72
Processador de vídeo	43	53	221	66	77

A temperatura máxima dos processadores *Athlon* modelo X2 é de 72° para o modelo 4000+ e a potência máxima dissipada por ele é de 65 *Watts*⁸. Apesar do micro não ter travado durante os testes, ele ficou em uma margem muito perigosa de operação. Isso significa que no caso de qualquer alteração, a temperatura ambiente poderia levar o computador a falhar.

No caso de servidores de rede que ficam em salas climatizadas, o mal funcionamento de aparelhos de ar condicionado poderia conduzir a uma falha do servidor.

⁸ TORRES, GABRIEL., Todos os modelos do Athlon 64. Disponível em: <<http://www.clubedohardware.com.br/artigos/1154>> . Acesso em: 12/09/2007

A segunda parte dos testes consistiu em ligar todas as ventoinhas do gabinete, aumentando assim o fluxo de ar no interior do gabinete. Desta forma, observou-se que um maior fluxo de ar contribuiu com uma otimização do resfriamento dos componentes. Com essa simulação, a temperatura enquanto o processador estava ocioso foi de 35° C e a temperatura do processador da placa de vídeo ficou em 41° C. Estimulando ambos os processadores durante aproximadamente 4 minutos fez com que a temperatura do processador atingisse 50° C e a temperatura de vídeo atingisse 47° C. A tabela abaixo ilustra o desempenho dessa configuração:

Tabela 5.2 – Segunda compilação de testes – RESFRIAMENTO A AR

Componente	Temperatura – Ocioso (°C)	Temperatura – Sob estímulo (°C)	Tempo de execução (s)	Potência dissipada sob estímulo (W)	Temperatura Máxima suportada (°C)
Processador principal	35	50	221	65	72
Processador de vídeo	41	47	221	66	77

A figura a seguir é uma imagem da tela tirada no momento em que o computador estava estimulado com todas as ventoinhas ligadas. Na foto, é possível ver os programas de medição em execução assim como o programa de estímulo do processador e o processador de vídeo. Também estava em execução o gerenciador de tarefas do Windows para que seja explicitado o uso do processador no momento da foto. No programa *Speedfan* versão 4.32 a *temp1* se refere à temperatura do processador. Do lado esquerdo da tela observa-se o programa de gerenciamento da

placa de vídeo. Nela, verifica-se que a temperatura do processador da placa de vídeo estava em 47° C no momento da foto.

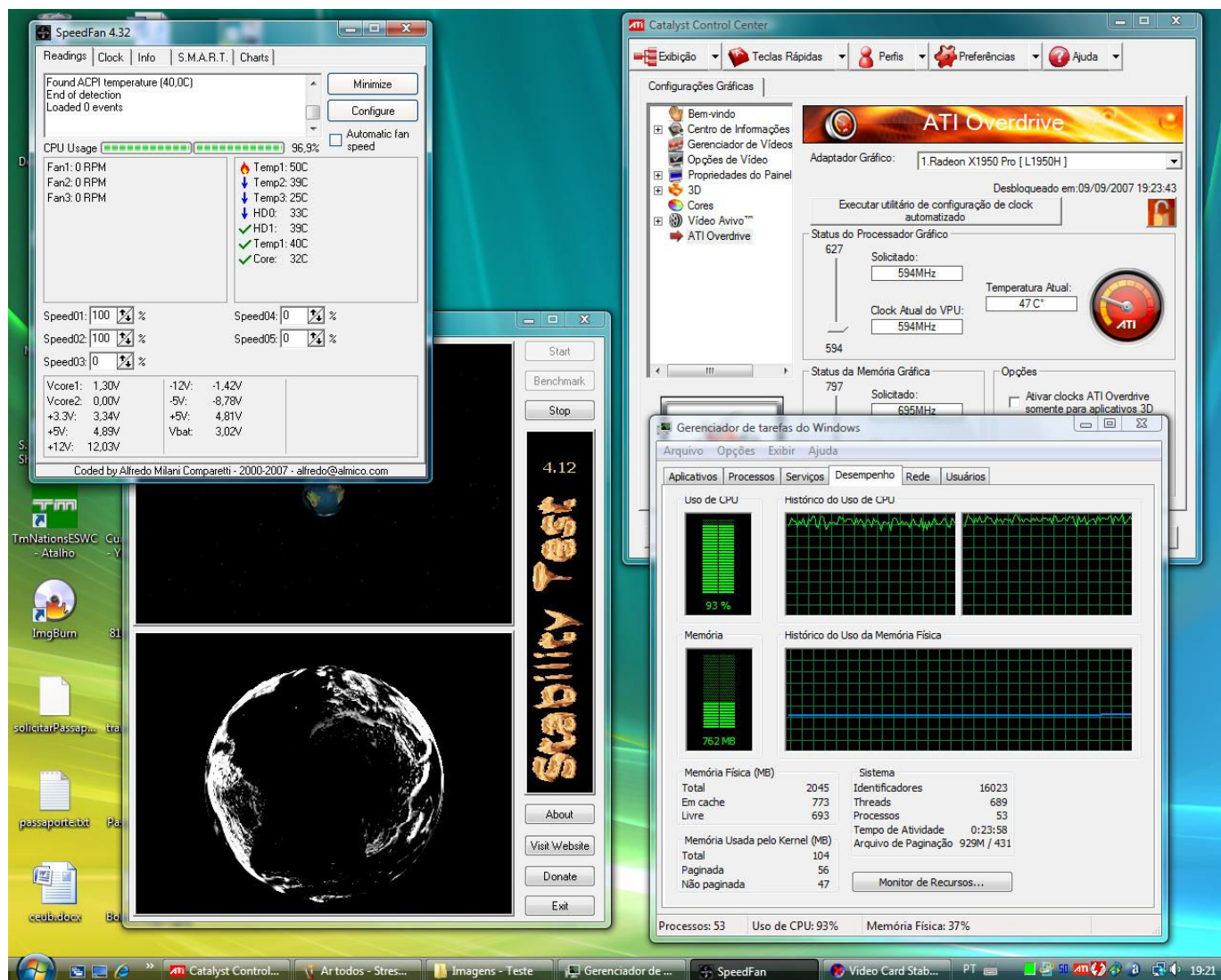


Figura 5.1 – Primeira tela de testes

Com o maior fluxo de ar no interior do gabinete os resultados foram bem melhores que na simulação anterior, pois a redução do fluxo de ar leva a um acréscimo de 20% da temperatura do processador principal no tempo ensaiado. O próximo teste analisará como se comporta o sistema de resfriamento líquido e se

este poderá oferecer uma melhor performance no resfriamento dos componentes citados, sobre o sistema a ar.

5.2 MEDIÇÕES DAS TEMPERATURAS COM RESFRIAMENTO LÍQUIDO

Para efetuar as medidas de temperaturas, a mesma metodologia anterior foi utilizada. O *hardware* utilizado é exatamente o mesmo, a temperatura ambiente também é a mesma. As medidas foram tomadas no mesmo dia uma imediatamente após a outra. Os primeiros parâmetros a serem medidos foram as temperaturas do processador e da placa de vídeo, com o computador na condição ociosa. Para isso, o sistema de resfriamento líquido foi instalado, o computador foi ligado e mantido ocioso por 10 minutos. Após esse tempo, a temperatura foi medida. A temperatura obtida no processador foi de 28° C e a temperatura da placa de vídeo foi medida em 44° C. Verificou-se então que o *cooler* a água se mostrou mais eficiente do que o *cooler* com resfriamento a ar, confirmando as previsões teóricas destes estudos.

A próxima fase do teste é estimular o uso do processador e da placa de vídeo para que eles produzam a maior quantidade possível de calor. Feito isso, a temperatura do processador atingiu um máximo de 38° C e a temperatura da placa de vídeo ficou em 51° C conforme ilustra a figura a seguir:

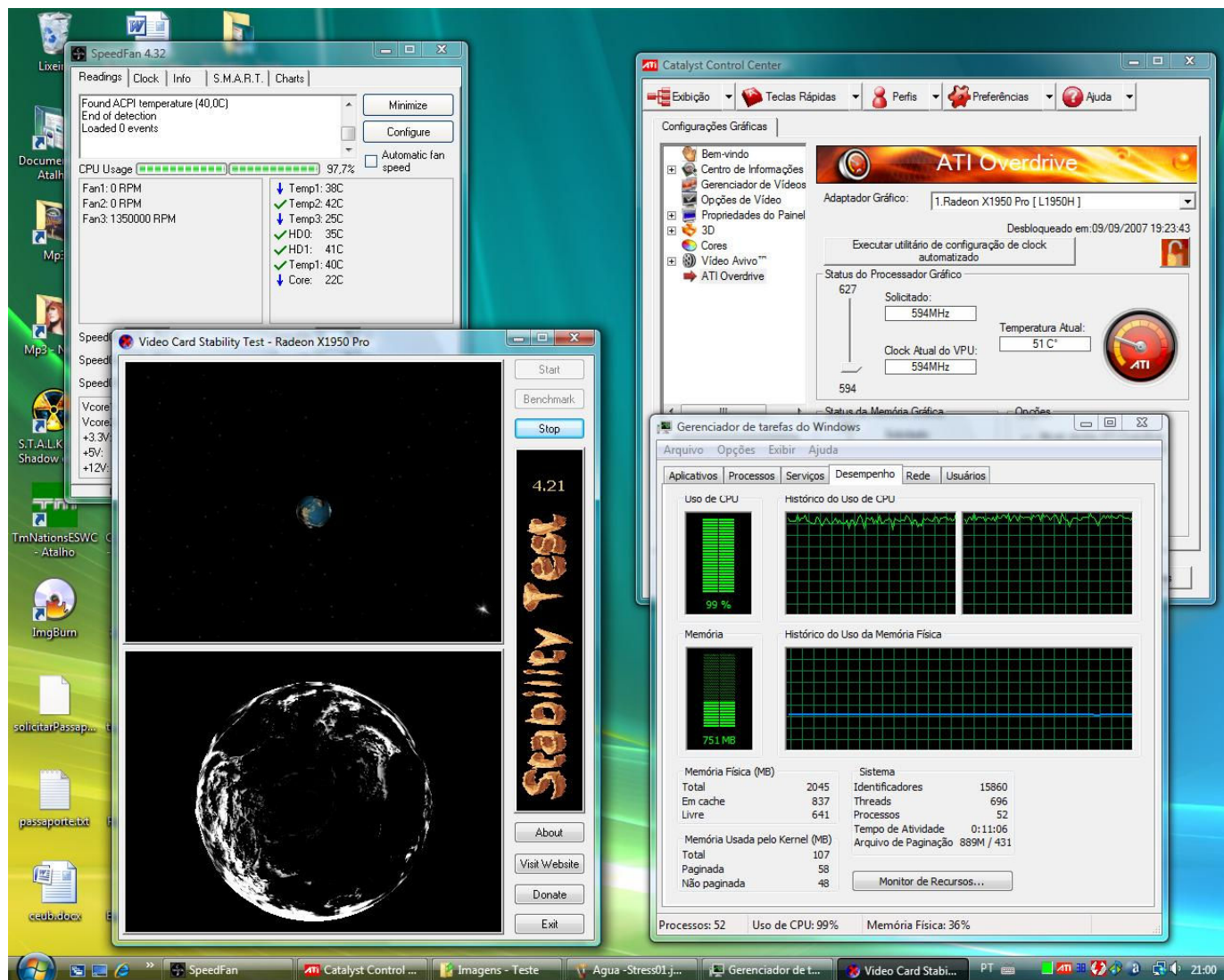


Figura 5.2 – Segunda tela de testes

Nesta imagem, os mesmos programas estão em execução e a *temp1* do programa *Speedfan* mostrou a temperatura de 38° C.

A figura a seguir apresenta uma comparação dos resultados obtidos, relativos ao comportamento da temperatura, para as condições de computador estimulado, considerando as medições realizadas no processador principal apenas.

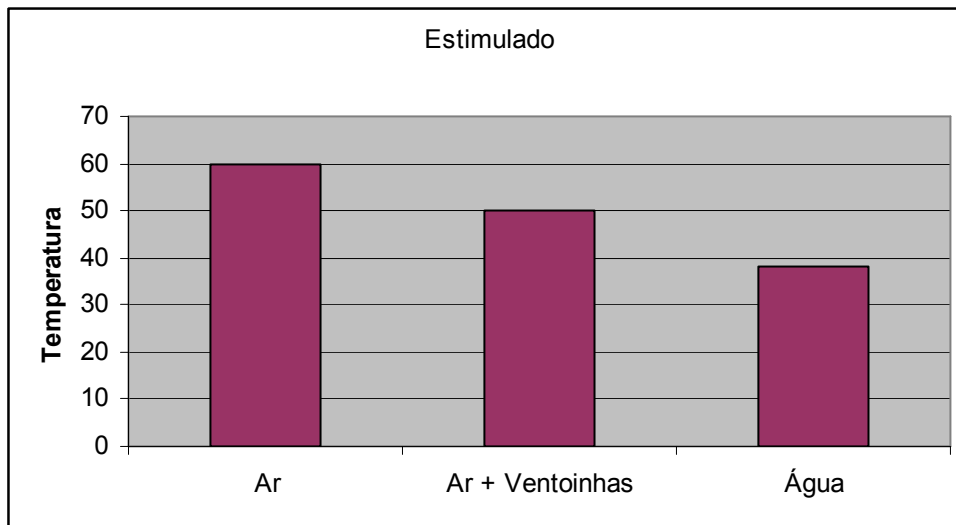


Figura 5.3 – Temperaturas do processador principal estimulado em ambiente com um processador

Pelo gráfico, fica ilustrado que o *cooler* a água se mostrou muito mais eficiente que o *cooler* a ar.

O próximo gráfico ilustra o desempenho de resfriamento considerando o computador em estado ocioso. As temperaturas são relativas ao processador principal da máquina.

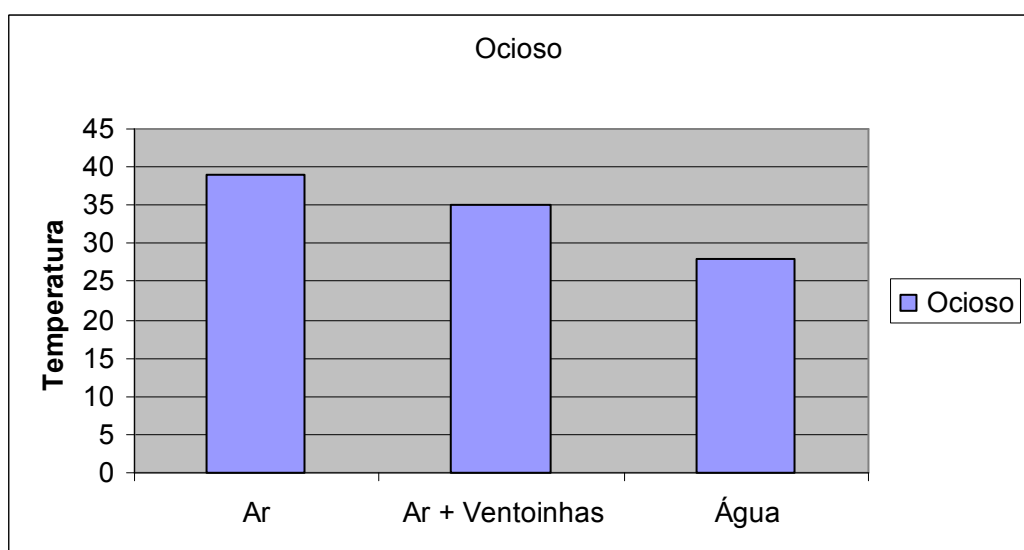


Figura 5.4 – Temperaturas do processador principal ocioso em ambiente com um processador

5.3 RESFRIAMENTO LÍQUIDO EM AMBIENTE MULTI-PROCESSADO

Os testes anteriores mostraram como o resfriamento com líquido foi superior ao resfriamento a ar, sob o ponto de vista de troca térmica. A influência do resfriamento a água foi nítida, pois a temperatura do processador principal baixou consideravelmente, porém, o que foi constatado foi um ligeiro aumento da temperatura no processador que não recebeu a água para o seu resfriamento. Isso se deve ao fato do fluxo de ar no interior do gabinete ser reduzido quando foi suprimido um *cooler* a ar. Portanto, o próximo passo do teste será resfriar o segundo processador (de vídeo) com o fluido água, objetivando verificar a sua performance e comparar com os resultados obtidos nos testes anteriores.

O sistema de resfriamento *Nautilus 500* não oferece um bloco de água para um segundo processador, portanto, fez-se necessária a aquisição de um segundo bloco para montá-lo sobre o processador de vídeo. Esse bloco é fabricado pela *Zalman*, modelo ZM-GWB2 feito de alumínio e compatível com a tubulação 3/8 polegadas usada neste projeto. As dimensões são de 4,5 x 2 x 4,5cm de largura, altura e profundidade respectivamente, e é compatível também com a placa de vídeo *ATI Radeon X1950 Pro* também usada neste projeto. A figura a seguir ilustra o produto descrito:



Figura 5.5 – Zalman ZM-GWB2

Fonte: www.waz.com.br

O método adotado para estes testes foi o mesmo utilizado para os ensaios anteriores. Foi usado o programa *Speedfan* para medir a temperatura do processador principal da máquina e o *software* da ATI para medir a temperatura da placa de vídeo, agora resfriada também a água. Tanto o *software speedfan* quanto o *software* da ATI utilizam um diodo térmico que fica no processador para ler suas temperaturas. Ambos os processadores serão estimulados através do programa *Vídeo Card Stability test*.

Primeiramente, o computador foi ligado e mantido em estado ocioso até que suas temperaturas ficassem estáveis. Nesta ocasião, a temperatura do processador principal da máquina foi medida em 30° C e a temperatura do processador da placa de vídeo foi medida em 36°C.

Após o uso dos programas listados acima, as temperaturas foram medidas. A temperatura obtida para o processador principal foi de 46°C e a temperatura medida

para o processador da placa de vídeo foi de 50°C. A figura a seguir apresenta os resultados obtidos com a realização destes testes:

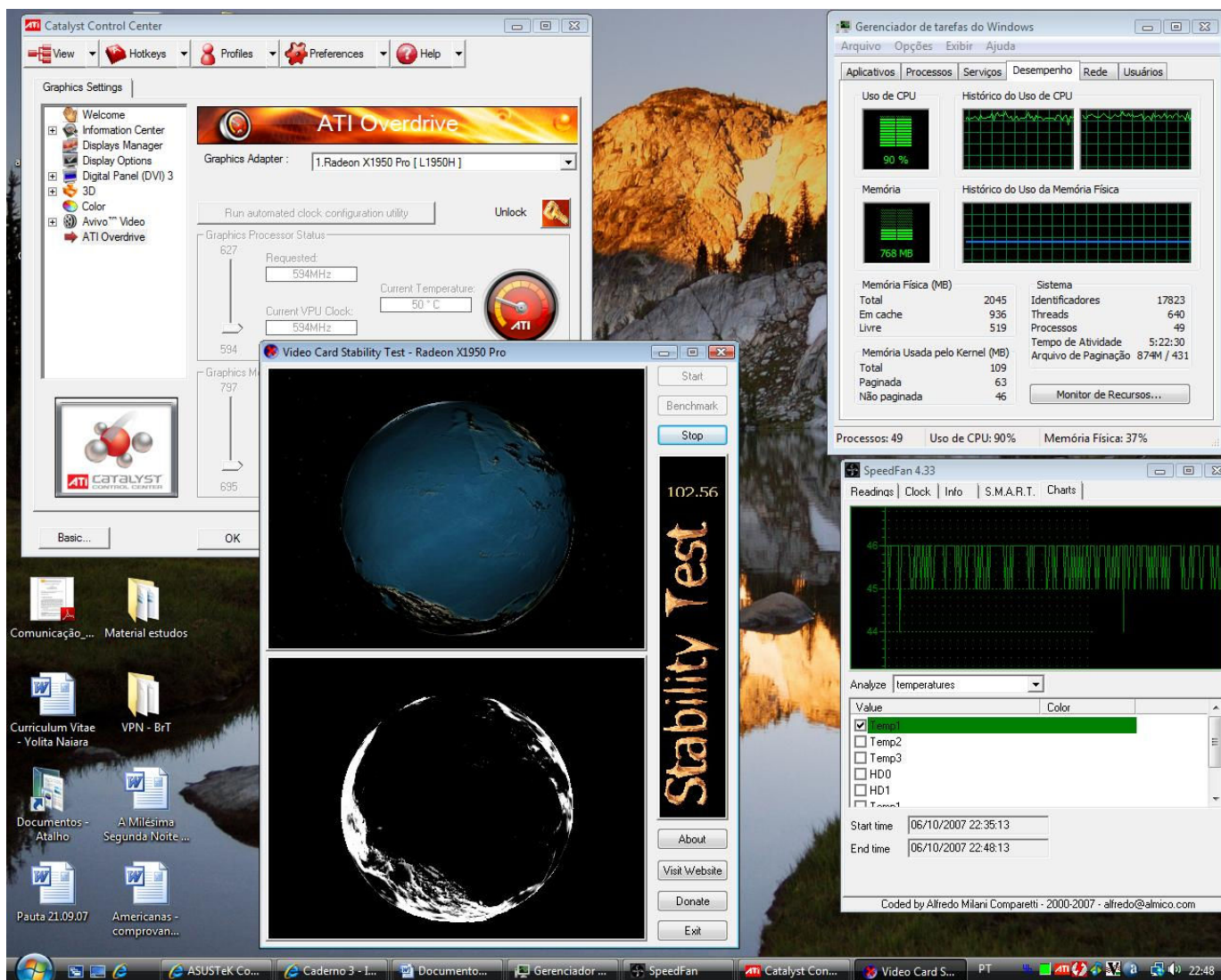


Figura 5.6 – Terceira tela de testes

Na ocasião do teste, as ventoinhas auxiliares do gabinete foram acionadas, mas o resultado não foi alterado. Isso porque o calor gerado por ambos os processadores está fluindo pela água dentro da tubulação. Este resultado comprova que a eficiência da água é superior ao do ar, ao ponto que com o sistema de resfriamento a água em operação, ao acrescentar as ventoinhas, as trocas térmicas

adicionais não superam as já realizadas com a água, permanecendo, portanto a troca térmica total inalterada. É possível concluir que o sistema de resfriamento a água não depende de nenhum fluxo de ar no interior do gabinete para auxiliar na temperatura dos componentes testados.

A tabela abaixo resume os testes realizados em um ambiente com mais de um processador:

Tabela 5.5 – Ensaio com ambiente multiprocessado

Componente	Temperatura – Ocioso (°C)	Temperatura – Sob estímulo (°C)	Tempo de execução (s)	Potência dissipada sob estímulo (W)	Temperatura Máxima suportada (°C)
Processador principal	30	46	221	65	72
Processador de vídeo	36	50	221	66	77

A figura a seguir mostra como se comportou o resfriamento a água quando o mesmo age nos dois processadores. As temperaturas são relativas ao computador estimulado e a medida foi realizada no processador de vídeo.

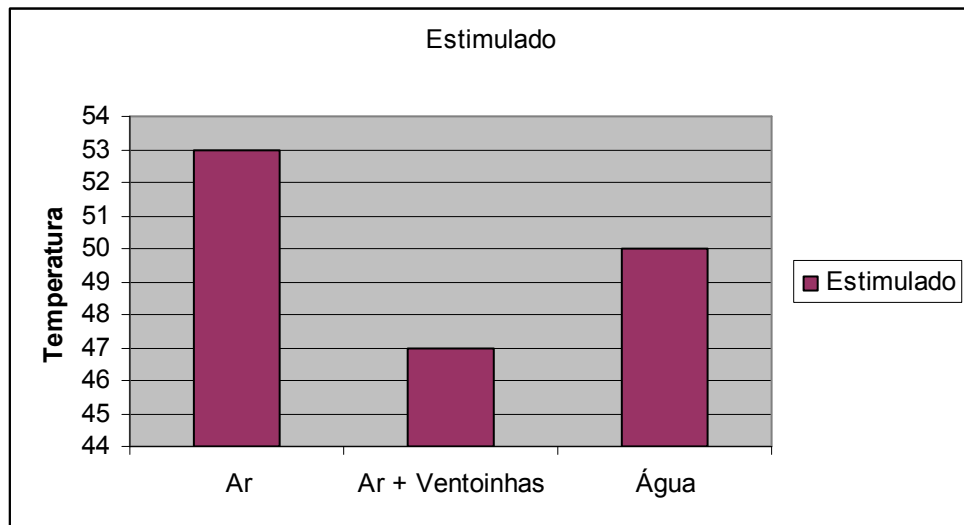


Figura 5.7 – Temperaturas do processador de vídeo estimulado em ambiente multi processado

Neste caso, o resfriamento a ar com todas as ventoinhas em operação se mostrou mais eficiente para resfriar o processador de vídeo que o resfriamento a água quando o mesmo age nos dois processadores. Isso se deve ao fato do sistema a água estar em série, ou seja, a água passa primeiro pelo processador principal da máquina e depois pelo processador de vídeo. Na ocasião dos dois processadores estarem estimulados, a água mais quente que sai do processador principal influencia negativamente no resfriamento do processador de vídeo.

A última figura ilustra o mesmo cenário anterior, mas com os processadores ociosos. As temperaturas são relativas ao processador de vídeo.

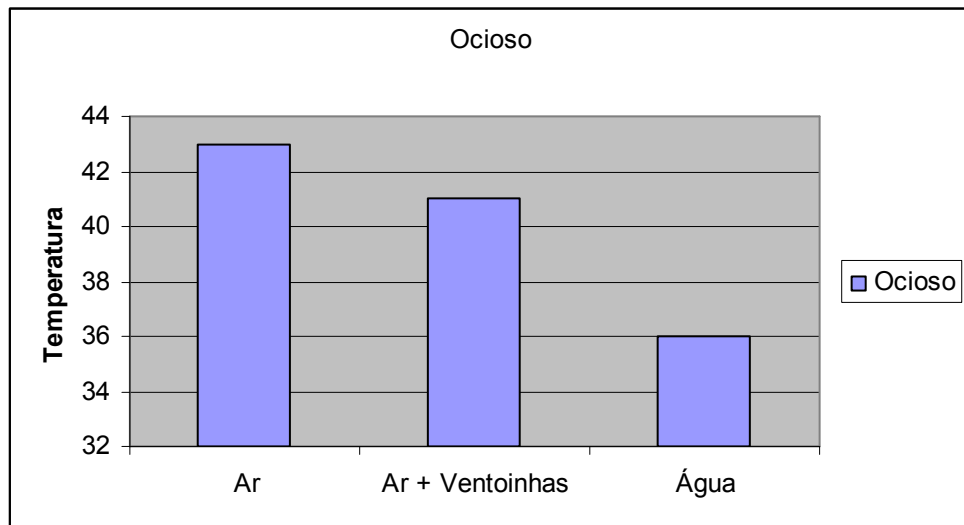


Figura 5.8 – Temperaturas do processador de vídeo ocioso em ambiente multi processado

Neste caso não houve impacto negativo no resfriamento do processador de vídeo. Os resultados obtidos em todos os testes confirmam tecnicamente que o sistema de resfriamento a água se mostrou plenamente capaz de resfriar dois processadores, contudo, a temperatura do processador de vídeo mostrou um aumento de 3° C quando ligado em série com o processador principal e quando os dois processadores foram estimulados.

5.4 Resultados relativos ao consumo de energia elétrica e aos níveis de ruído

5.4.1 Nível de ruído

O som é uma oscilação na pressão do ar capaz de ser percebida pelo ouvido humano. O número de oscilações da pressão do ar por unidade de tempo define sua frequência, enquanto que a magnitude da pressão média define a potência e a intensidade sonora. A frequência é expressa em Hertz (ou ciclos/segundo) e a pressão em Pascal (N/m²), enquanto que a potência é a energia emitida pela fonte

sonora por unidade de tempo, expressa em Joules por segundo ou Watts. A intensidade sonora pode ser definida como potência por unidade de área, expressa em Watts por metro quadrado. Essas escalas para medida de pressão, potência e intensidade das ondas sonoras são escalas lineares.

Contudo, a pressão, potência e intensidade dos sons captados pelo ouvido humano cobrem uma ampla faixa de variação. Por exemplo, um murmúrio irradia uma potência de $1 \cdot 10^{-9}$ Watt enquanto que o grito de uma pessoa comum tem uma potência sonora de cerca de 0.001 Watt. Uma orquestra sinfônica chega a produzir 10 Watts enquanto que um avião a jato emite 100.000 Watts de potência ao decolar.

Sendo assim, uma escala logarítmica, como o decibel, é mais adequada para medida dessas grandezas físicas. Nos ensaios que se seguem, todos os níveis de ruído foram obtidos dos sites dos fabricantes e foram devidamente somados para compor o ruído total do sistema.

Com a finalidade de fornecer referências sobre o nível de ruído percebido pelo ouvido humano, apresenta-se a tabela a seguir:

Tabela 5.6 Níveis de ruído diversos

Ambiente	Nível de decibéis
Casa sossegada	20
Murmúrio	30
Música baixa	40
Conversa em tom normal	60
Televisão	65
Restaurante	70
Tráfego intenso	80
Esquina movimentada	93
Walkman no volume máximo	110
Buzina	110
Britadeira	110
Show em estádio	120
Avião a jato decolando	130
Tiro	140

Fonte: Guia dos Curiosos, de Marcelo Duarte, disponível em

<http://guiadoscuriosos.ig.com.br/>.

A tabela abaixo mostra o nível de ruído das ventoinhas utilizadas nos testes assim como o nível de ruído produzido pelo sistema de resfriamento à água *Nautilus* 500. Todos os valores foram obtidos dos sites oficiais dos fabricantes dos equipamentos.

Tabela 5.7 – Níveis de ruído fornecidos pelos fabricantes

Componente	Nível de ruído dBA
AMD Cooler	33,5
Ventoinha de 80 mm de diâmetro	30
Ventoinha de 120 mm de diâmetro	36,7
Cooler da placa de vídeo	44
Nautilus 500	36,92

O *Nautilus 500* não especifica um nível de ruído total, porém, os componentes que geram ruído nele são a bomba e a ventoinha de 120mm acima do radiador. A ventoinha de 120 mm gera um ruído igual às ventoinhas do gabinete (36,7 dBA) e o ruído da bomba pôde ser obtido no site do fabricante e é especificado em 24 dBA⁹. Como a grandeza decibéis é logarítmica, deve-se primeiro converte-los para uma grandeza linear, depois somá-los e em seguida voltar para a grandeza logarítmica. Desta forma, os cálculos a seguir demonstram o que foi explicado, e determina os níveis de ruído total do sistema de resfriamento a ar, permitindo a comparação com o ruído do sistema de resfriamento a água:

Transformando 36,7 dBA em grandeza linear:

$$36,7\text{dBA} = 10 \log (x) \quad \text{Dividindo os dois membros por } 10\ldots$$

$$3,67 = \log(x) \quad \text{Aplicando a base 10 para eliminar o log...}$$

⁹ Laing Thermotec, INC, The leader in Instant Hot Water Technology. Disponível em: <<http://www.lainginc.com/>> Acesso em: 06/11/2007

$$10^{3,67} = 10^{\log(x)}$$

$$X = 4677,35$$

Transformando 24 dBA em grandeza linear:

$$24 \text{ dBA} = 10 \log (x)$$

Dividindo os dois membros por 10...

$$2,4 = \log(x)$$

Aplicando a base 10 para eliminar o log...

$$10^{2,4} = 10^{\log(x)}$$

$$X = 251,18$$

Somando os dois valores lineares: $251,18 + 4677,35 = 4928,53$

$$Q = 10 \cdot \log(4928,53) = 36,92 \text{ dBA.}$$

No primeiro teste, o *cooler* da AMD, e o *cooler* da placa de vídeo eram os únicos ligados. Portanto o ruído total percebido pelo usuário nesse primeiro teste é a soma desses ruídos, portanto: $33,5 \text{ dBA} + 44 \text{ dBA}$.

Transformando 33,5 dBA em grandeza linear:

$$33,5 \text{ dBA} = 10 \log (x)$$

Dividindo os dois membros por 10...

$$3,35 = \log(x)$$

Aplicando a base 10 para eliminar o log...

$$10^{3,35} = 10^{\log(x)}$$

$$X = 2238,72$$

Transformando 44dBA em grandeza linear:

$$44 \text{ dBA} = 10 \log (x)$$

Dividindo os dois membros por 10...

$$4,4 = \log(x)$$

Jogando a base 10 para eliminar o log...

$$10^{4,4} = 10^{\log(x)}$$

$$X = 25118,86$$

Somam-se as duas grandezas lineares obtendo: $2238,72 + 25118,86 = 27357,58$.

Aplicando novamente o logaritmo para voltar para a grandeza logarítmica:

$$Q = 10 \cdot \log(27357,58) = 44,37 \text{ dBA}$$

Ruído total do sistema no primeiro teste = 44,37 dBA.

No segundo teste, todas as ventoinhas estavam operando, ou seja: *Cooler* da AMD, duas ventoinhas de 120 mm, uma ventoinha de 80 mm e mais o *cooler* da placa de vídeo. Portanto:

$$33,5 \text{ dBA} + 36,7 \text{ dBA} + 36,7 \text{ dBA} + 30 \text{ dBA} + 44 \text{ dBA}.$$

Aplicando as mesmas regras logarítmicas para essa situação:

Ruído total do sistema no segundo teste = 45,76 dBA

No terceiro teste apenas o *cooler Nautilus 500* encontrava-se em funcionamento, o que permite utilizar o valor já definido anteriormente.

Ruído total do *Nautilus 500* = 36,92 dBA

O sistema de arrefecimento a água foi capaz de resfriar o computador gerando menos ruído que todas as ventoinhas juntas, portanto dos ensaios realizados, fica comprovado que o ruído produzido pelo sistema de resfriamento a água é inferior ao ruído produzido pelo sistema de resfriamento a ar.

5.4.2 Consumo de energia

O consumo de energia é uma grandeza que pode ser determinada sem muita complexidade. Para efetuar este cálculo deve ser somada a potência de cada componente para obter a potência total do sistema. A tabela abaixo contém os dados das potências dissipadas por cada componente utilizado nos testes.

Tabela 5.8 – Consumo em Watts de cada componente do sistema de resfriamento a ar

Componente	Consumo em Watts
<i>Cooler</i> AMD	1,92
Ventoinha de 80mm	2,4
Ventoinha de 120mm	3,96
<i>Cooler</i> da placa de vídeo	1,56

A seguir determina-se a potência para cada condição de teste realizado, a energia consumida em um mês, o custo desta energia considerando a tarifa média cobrada pela Companhia Energética de Brasília (CEB) no Distrito Federal e posteriormente determina-se a energia anual, permitindo desta forma comparar os dispêndios com a energia para os dois sistemas e para condição ensaiada.

No primeiro teste, os *coolers* que estavam em funcionamento eram o da AMD e o da placa de vídeo. Portanto o consumo de energia total para resfriar os processadores foi de $1,92 + 1,56$ Watts.

Consumo total no primeiro teste = 3,48 W

No segundo teste, os *coolers* em funcionamento eram os dois citados acima mais duas ventoinhas de 120 mm e uma ventoinha de 80 mm o que dá:
 $1,92+2,4+3,96+3,96+1,56$

Consumo total no segundo teste = 13,8 W

No terceiro teste, apenas o *Nautilus* 500 estava ligado. Sua potência total é a soma da potência da sua ventoinha de 120 mm - 2,1 W, mais a potência da bomba de água que é especificada no site do fabricante como sendo de 12 w.

Consumo total com o *Nautilus* 500 = 14,1W

O consumo do *Nautilus* 500 é ligeiramente maior que o consumo do sistema com todas as ventoinhas operando, entretanto a diferença é muito pequena, ou seja, de 0,3W. Para a análise da viabilidade econômica de migrar para um sistema como esse, é necessário calcular o gasto de energia ao longo do tempo. Supondo a condição mais extrema de uso de um servidor de rede que fica ligado 24/7 e multiplicando pelo valor do kWh cobrado pela CEB de 0,20 centavos:

TESTE I – Determinação custo mensal da energia despendida – resfriamento a ar:

- $3,48W * 24h = 83,52 Wh = 0,08352 kWh$ por dia
- $0,08352 kWh * 30 dias = 2,50 kWh$ por mês
- $2,50 * 0,20 = R\$ 0,50$ por mês

TESTE II - Determinação custo mensal da energia despendida – resfriamento a ar:

- $13,8W * 24h = 331,2 Wh = 0,3312 kWh$ por dia
- $0,3312 kWh * 30 dias = 9,936 kWh$ por mês
- $9,936 * 0,20 = R\$ 1,98$ por mês

***Nautilus 500* - Determinação custo mensal da energia despendida com o sistema de resfriamento a água:**

- $14,1W * 24h = 338 Wh = 0,338 kWh$ por dia
- $0,338 kWh * 30 dias = 10,14 kWh$ por mês
- $10,14 * 0,20 = R\$ 2,28$ por mês

A tabela a seguir mostra a projeção desses valores ao longo dos anos:

Tabela 5.9 – Custo anual para cada condição ensaiada, considerando o sistema de resfriamento a ar e a água

	Mês	1 Ano	2 anos	3 anos	4 anos	5 anos	6 anos	7 anos	8 anos	9 anos	10 anos
TESTE I											
Custo (R\$)	0,5	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
TESTE II											
Custo (R\$)	1,98	23,76	47,52	71,28	95,04	118,8	142,56	166,32	190,08	213,84	237,6
NAUTILUS											
Custo (R\$)	2,28	27,36	54,72	82,08	109,44	136,8	164,16	191,52	218,88	246,24	273,6

O custo do processador *Athlon X2 4000+* usado nos ensaios é de aproximadamente R\$ 250,00. Dos cálculos realizados, obtém-se que a diferença em 10 anos do custo do consumo de energia elétrica do sistema de resfriamento a água, para o resfriamento a ar utilizado no teste II, é de R\$ 36,00, favorável ao

sistema de resfriamento a ar, o que não é relevante na tomada de decisão e também não compromete a eficiência superior obtida com o sistema de resfriamento a líquido, que visa proteger os principais componentes do computador. Visto que a temperatura de operação dos processadores resfriado a ar para os testes realizados é superior à temperatura obtida com o sistema resfriado à água, sua vida útil pode ser reduzida e no caso de queima do processador por ineficiência do sistema de resfriamento a ar a perda será irreparável.

No primeiro teste quando somente parte das ventoinhas estavam operando, o consumo de energia do sistema resfriado a ar foi de R\$ 213,60 em 10 anos favoráveis ao sistema a ar, entretanto, as altas temperaturas registradas poderá comprometer a vida útil dos componentes gerando perdas irreparáveis e o desempenho de arrefecimento foi muito inferior. Portanto para este cenário, os resultados obtidos também não comprometem o desempenho técnico do sistema de resfriamento a água.

6 AUMENTO DO PROCESSAMENTO ATRAVÉS DO **OVERCLOCK**

O *overclock* é uma técnica utilizada para aumentar a frequência de operação de um processador. Desta forma é possível fazer com que um processador opere a uma frequência acima daquela especificada pelo seu fabricante.

O *Athlon* 64, utilizado nos ensaios, utiliza uma arquitetura completamente diferente da de outros processadores. Normalmente o circuito controlador de memória está embutido no *chipset* ponte norte da placa-mãe. No caso dos processadores AMD64, o controlador de memória está embutido no próprio processador e não no *chipset* da placa-mãe. Portanto, em computadores baseados nos processadores *Athlon* 64 o tipo e a capacidade das memórias são definidos pelo processador e não pela placa-mãe, como acontece na maioria dos processadores. A figura 6.1 ilustra a arquitetura utilizada pelo *Athlon* 64.

Portanto, em vez de ter apenas um barramento externo, como acontece em outros processadores (este único barramento externo é freqüentemente chamado *Front Side Bus* ou FSB), os processadores AMD64 têm dois barramentos: um barramento de memória e um barramento *HyperTransport*. O barramento *HyperTransport* é um barramento de entrada e saída usado para conectar o processador a um chip ponte, que por sua vez conecta o processador aos outros dispositivos, como a placa de vídeo. Os processadores *Athlon* 64 utilizam um *clock* base (também chamado de *clock HyperTransport*, HT ou HTT) de 200 MHz para gerar seu *clock* interno, multiplicando-o por um valor fixo (também chamado multiplicador de *clock*), que varia de acordo com o modelo do processador. O

modelo usado nos ensaios, um *Athlon X2 4000+*, possui o clock HTT de 200MHz e faz uma multiplicação por 10,5. Dessa forma o *clock* real do processador é de 2100MHz.

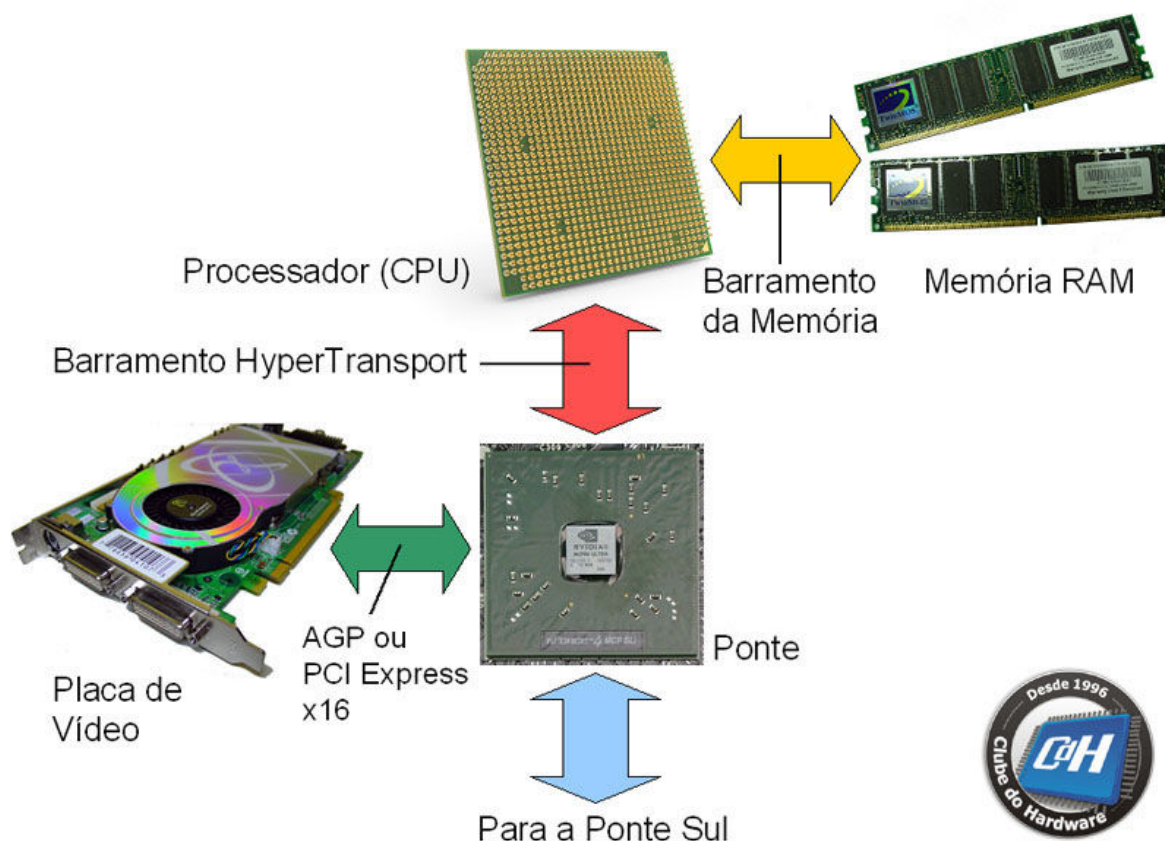


Figura 6.1 – Arquitetura do Athlon 64

Fonte: Clube do Hardware, Disponível em www.clubedohardware.com.br

É possível, através de modificações na BIOS (*Basic Input Output System*) da placa mãe, alterar o *clock* base HTT. Na placa mãe Asus M2N-E SLI utilizada nos ensaios, sendo possível definir valores de 200 até 300MHz para esse *clock*. O multiplicador, 10,5, utilizado é fixo e não pode ser alterado. É possível então aumentar o *clock* real do processador aumentando o *clock* HTT na placa mãe. Então, esse conjunto placa mãe e processador podem ter uma variação de clock de 2100 ($200 \times 10,5$) até 3150 ($300 \times 10,5$).

Mas, para um *overclock* bem sucedido, é preciso que a temperatura do processador se mantenha baixa, e ainda, com o aumento do *clock*, o processador passará a consumir mais energia. Dessa forma, algumas placas mãe possuem em sua BIOS valores de voltagem para os processadores, que poderá ser alterado, permitindo o usuário definir uma voltagem mais alta para o seu processador visando suprir as necessidades de energia devido ao *clock* mais elevado. Entretanto a placa mãe utilizada nos ensaios não possui tal recurso.

Como o *clock* real do processador aumenta devido ao aumento do HTT, o barramento de memória também irá aumentar de velocidade exatamente porque seu controlador está dentro do processador. Então, ao efetuar um *overclock* em processadores *Athlon* 64, não só sua capacidade de processamento será aumentada, mas também a velocidade de acesso à memória também será beneficiada. Porém, a memória também pode se tornar um gargalo no *overclock*. O uso de memórias de baixa qualidade pode influenciar negativamente um *overclock*.

Determinar a velocidade máxima que é possível configurar o HTT é uma questão de tentativa e erro. É necessário aumentar o valor na BIOS, e testar o computador para garantir sua operação e estabilidade. No ensaio, o HTT foi aumentado em passos de 5MHz, e o computador foi testado durante algumas horas. O teste consistiu basicamente em executar os programas já listados no projeto como o *Video Card Stability Test* e os sensores de temperatura. Dessa forma foi possível garantir que o computador não estava instável e as temperaturas estavam dentro dos limites. Foi determinado que o computador se mostrou estável com um HTT de 235MHz, ou seja, uma velocidade real de 2467MHz, portanto, 367MHz a mais do que o processador de testes, um ganho de 17%. Na ocasião dos testes, foi verificado que a temperatura do processador principal sofreu um pequeno aumento

de 2°C quando estimulado. Se a placa mãe possuísse o recurso de aumento da voltagem do processador, talvez fosse possível obter um *clock* mais elevado, visto que a temperatura se manteve ainda muito mais baixa que no sistema de arrefecimento a ar. Os testes de *overclock* foram feitos exclusivamente com o sistema de resfriamento a água.

Após a verificação da velocidade máxima do processador, foi utilizado um programa de teste de velocidade, também conhecido como *benchmark*, que permite analisar as taxas de transferências, tempos de acessos e outros parâmetros de desempenho. O programa de *benchmark* utilizado foi o SANDRA da empresa *SiSoftware*, disponível em <http://www.sisoftware.co.uk/>. Os parâmetros utilizados foram:

1. Quantidade de operações por segundo utilizando inteiros.
2. Quantidade de operações por segundo utilizando pontos flutuantes.
3. Largura de banda da memória para números inteiros.
4. Largura de banda da memória para pontos flutuantes.

A tabela a seguir é uma compilação dos resultados obtidos depois dos testes:

Tabela 6.1 – Resultados dos testes de benchmark

	Velocidade padrão - 2100MHz	Overclock - 2470MHz	Ganho
Arithmetic - Int	13813 MIPS	16393 MIPS	18%
Arithmetic - Float	12757 MFLOPS	14749 MFLOPS	15%
Memory - Int	5093 MB/s	6199 MB/s	21%
Memory - Float	5159 MB/s	6128 MB/s	18%

O aumento de 17% na frequência de *clock* do processador traduziu-se em um aumento de em média 18% na velocidade de execução de operações com números inteiros (MIPS), execução de operações com ponto flutuante (MFLOPS), e ainda na taxa de transferência de dados entre a memória e o processador.

7 CONCLUSÃO

Através dos ensaios realizados e dos resultados obtidos constatou-se que o uso de água para resfriar processadores atingiu os objetivos de desempenho propostos no capítulo 1 item 1.4. Quando resfriando um processador com sistema a água, a temperatura deste diminuiu cerca de 37% em relação ao resfriamento a ar sem a ajuda das ventoinhas laterais. E quando resfriando dois processadores com líquido, a temperatura diminuiu 23% e 6% no processador principal e de vídeo respectivamente.

Além do desempenho de resfriamento, o nível de ruído também foi menor na ordem de 9 dBA, para o sistema de resfriamento a água. Um menor nível de ruído gera mais conforto para os usuários que utilizam o computador. Também auxiliam àqueles que usam o computador em estúdios de som, por exemplo, e que necessitam do menor ruído possível gerado por uma estação de trabalho.

No quesito econômico, o resfriamento a água, além de dar mais confiabilidade operacional ao computador mostra-se vantajoso a longo prazo. Embora o custo de implementação e o consumo de energia elétrica sejam maiores, os custos de *hardware* podem compensar os custos investidos, e os riscos de falhas são menores para o sistema resfriado a água e a vida útil será maior para este sistema.

O resfriamento a ar deixa os processadores em uma margem de temperatura muito próxima à máxima permitida pelo fabricante, podendo comprometer e reduzir a vida útil destes componentes e aumentando o risco de falhas devido a qualquer variação ambiental ou má operação de uma ventoinha. Quanto mais alta a

temperatura de funcionamento, menor sua vida útil. Também há o risco de falhas de ventoinhas e ação mecânica impedindo o correto fluxo de ar no interior do gabinete.

O resfriamento a água, após análise técnica, permite um *overclock* dos processadores.

A implantação de um sistema de resfriamento a água, principalmente em servidores de grande porte, permite eliminar os sistemas de ar condicionado e ventoinhas, e para tal basta instalar o radiador do sistema fora da sala onde estão tais equipamentos, de forma que o calor removido seja conduzido para o ambiente externo.

As desvantagens do sistema de resfriamento a água fica por conta de possíveis falhas que provoquem vazamentos e o espaço ocupado pelo sistema no caso do seu uso residencial para resfriar um computador pessoal. No caso do usuário não aplicar técnicas de *overclock*, um bom sistema de resfriamento a ar consegue suprir suas necessidades sem a necessidade da água.

Por fim, conforme os ensaios realizados é possível concluir que a migração para um sistema de resfriamento à água é viável tecnicamente de imediato e economicamente a médio ou longo prazo dependendo do porte da instalação.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar ensaios e estudos para sistemas de grande porte, onde se espera que as vantagens do sistema de resfriamento a água sejam ainda maiores, e o nível de ruído também seja reduzido de forma significativa;
- Realizar ensaios e estudos de *overclock* para computador, utilizando como fonte dissipadora do calor adicional gerado o sistema de resfriamento a água;
- Estudar a implantação de radiadores fora da sala de processamento, eliminando carga térmica significativa do sistema de ar condicionado;
- Realizar estudos para otimização de um rack contendo tubulações, bomba, e o radiador de forma compacta para sistemas de resfriamento a água;
- Utilizar uma placa mãe que possibilite o ajuste de voltagem de operação do processador para alcançar *clocks* mais elevados.

8 BIBLIOGRAFIA

INCROPERA, Frank P.; **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa: ISBN (8521613784)**, LTC, 2003.

KREITH, Frank.; **Princípios de Transferência de Calor: ISBN (8522102848)**, THOMSON LEARNING, 2003.

ZUEPHOK, Mosfet; **Heat Sink Guide**, 26 December 2003. Disponível em: <<http://www.techarp.com/showarticle.aspx?artno=71&pgno=0>>. Acesso em: 07/08/2007.

TORRES, Gabriel; **Hardware Curso Completo 4ª Edição: ISBN (8573231653)**, Axcel Books, 2001.

AMD, Advanced Micro Devices – Home Page. Disponível em: <www.amd.com> . Acesso em: 12/10/2007.

Corsair, Home Page. Disponível em: <<http://www.corsairmemory.com>> . Acesso em 10/08/2007.

Akasa Brasil. Disponível em: <<http://www.akasa.com.br>> . Acesso em 10/08/2007.

Revista PC MASTER, Reportagens Calor x Desempenho, Edição 64. Disponível em: <http://www.europenet.com.br/euro2003/index.php?cat_id=62&pag_id=9996>. Acesso em 10/08/2007.

Tom's Hardware, Computer Hardware News, Tests, Ratings and Reviews. Disponível em: <<http://www.tomshardware.com>>. Acesso em: 22/08/2007.

APENDICE A – FOTOS DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO A AR



Figura A.1 – Accelerator X2 – Resfriamento a ar do processador de vídeo



Figura A.2 – Cooler AMD



Figura A.3 – Ventoínhas do gabinete

APENDICE B – FOTOS DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO A ÁGUA



Figura B.1 – Bloco de contato e líquido refrigerante

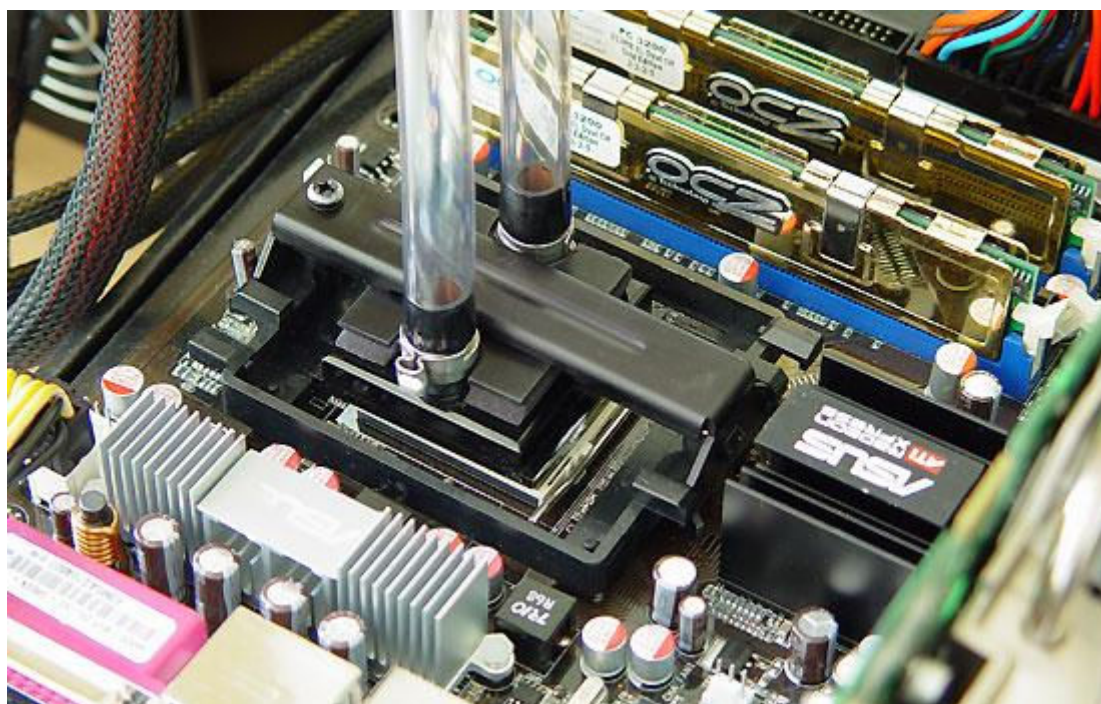


Figura B.2 – Bloco de contato instalado no processador principal

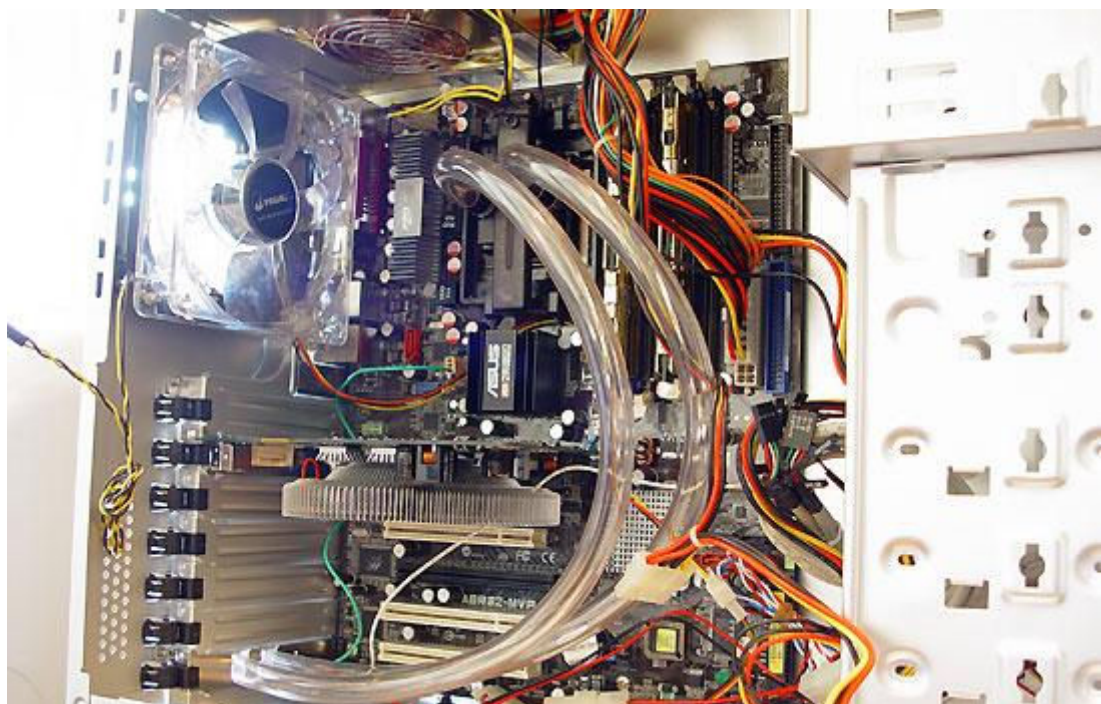


Figura B.3 – Tubulação no interior do gabinete